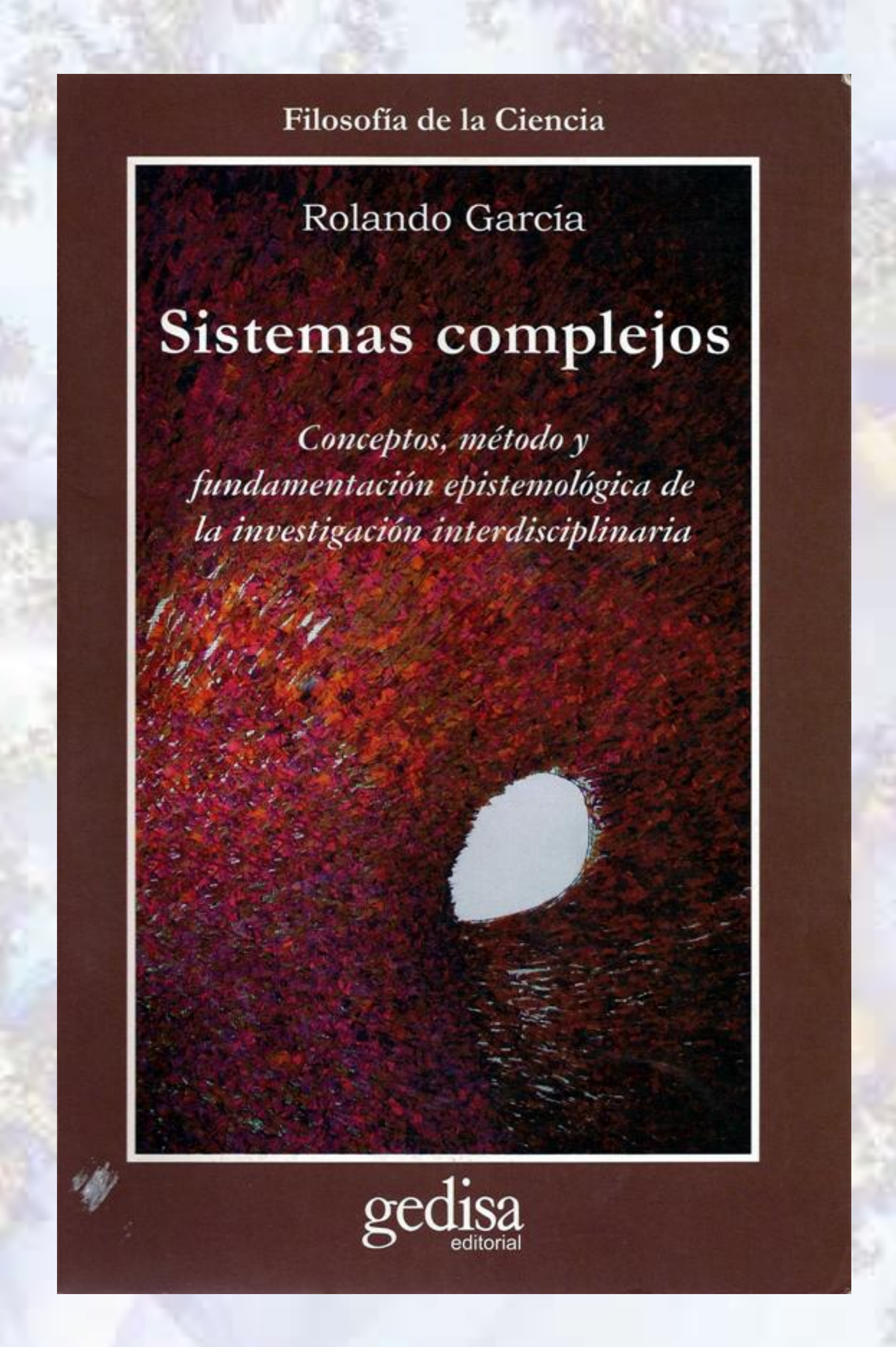

Filosofía de la Ciencia
Rolando García
Sistemas complejos
Conceptos, método y
fundamentación epistemológica de
la investigación interdisciplinaria
gedisa
editorial

ROLANDO GARCÍA

Sistemas complejos

Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria

Serie Cla – De – Ma
Filosofía de la Ciencia

CLA-DE-MA
Filosofía de la Ciencia

JEAN PIAGET Y ROLANDO GARCÍA:	*Hacia una lógica de significaciones*
ROLANDO GARCÍA:	*La epistemología genética y la ciencia contemporánea.* Homenaje a Piaget
ROLANDO GARCÍA:	*El conocimiento en construcción.* De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de los sistemas complejos
ROLANDO GARCÍA:	*Sistemas complejos.* Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria

ROLANDO GARCÍA

Sistemas complejos

Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria



Ilustración de cubierta: Roberto Suárez

Primera edición: octubre de 2006, Barcelona

Paseo de la Bonanova 9, 1º 1a
08022 Barcelona, España
Tel 93 253 09 04
Fax 93 253 09 05
gedisa@gedisa.com
www.gedisa.com

ISBN: 94-9784-164-6

Depósito Legal: B. 46228-2006

Impreso en España
Romanyá Valls (Capellades)
Printed in Spain

Índice

Siglas

FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GARP	Programa de Investigación Global de la Atmósfera
ICSU	Consejo Internacional de Uniones Científicas
IFIAS	Federación Internacional de Institutos de Estudios Avanzados
OMM	Organización Meteorológica Mundial
SAS	Sistemas Alimentarios y Sociedad
UNRISD	Instituto de Investigaciones de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social



Introducción general

1. GÉNESIS DE LA TEORÍA DE SISTEMAS COMPLEJOS

Hace varias décadas, tuve a mi cargo la Secretaría General del *Programa de Investigación Global de la Atmósfera* (GARP), establecido por acuerdo entre la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Consejo Internacional de Uniones Científicas (ICSU). El GARP tenía como objetivo establecer los límites de predictibilidad en los pronósticos meteorológicos y evaluar la posibilidad de predicción de las variaciones climáticas. Gracias al desarrollo de las computadoras, era posible experimentar con los primeros modelos de circulación general la atmósfera. Con ello se esperaba anticipar situaciones catastróficas vinculadas con fenómenos climáticos

Además del interés teórico que congregó a los más prestigiados meteorólogos de la época, el programa contó con apoyo internacional de diferentes organizaciones movilizadas, en buena parte, ante la alarma generada por catástrofes atribuidas a un cambio climático, que habían afectado diversas regiones del mundo en la década de 1960-1970. Prolongadas sequías afectaron fundamentalmente a extensas regiones de África, la India y el Noreste de Brasil. En 1972, la crisis alcanzó la cima. A estas sequías se las consideró responsables - la escasez de alimentos y de las hambrunas que llevaron a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) a declarar que "estaba en peligro la seguridad alimentaria. mundial".

Frente a esta situación, en 1974 la Organización de las Naciones Unidas convocó a la "Conferencia Mundial de Alimentos" donde se presentaron

informes alarmantes. *El Report on Climate and Food* publicado por la Academia de Ciencias de los Estados Unidos, afirmaba:

> En 1972, un año en el cual el clima fue particularmente desafortunado para la producción de alimentos, millones de personas *starved throughout the World.* (p. 3)

Y en un libro que tuvo amplia resonancia, *By Bread Alone* (1974), de L. Brown y E. Eckholm, se declaraba:

> El mundo está ahora en una posición altamente vulnerable. Entre 1973 y 1974 la capacidad de las reservas mundiales en relación con las necesidades del consumo cayó muy por debajo de todo nivel anterior en la era de post-guerra, hasta el equivalente de sólo veintiséis días del consumo mundial. (p. 57)

En estas circunstancias, Walter Roberts, uno de los miembros más activos de la Federación Internacional de Institutos de Estudios Avanzados (IFIAS), organizó, en mayo de 1974, un taller en el Instituto Meteorológico de Bonn (Alemania), dirigido por el prominente climatólogo, Profesor Hermann Flohn. En la reunión participaron representantes de diversos países, incluyendo *"developing countries"*, y se elaboró la "Declaración de Bonn" (*"Bonn Statement"*), aprobada por IFIAS y luego distribuida internacionalmente a gobiernos, agencias de Naciones Unidas y organismos de investigación. El tema de la declaración fue: "las implicaciones sociales, éticas, culturales y políticas de un posible cambio de clima". Sobre esa base, IFIAS instituyó el Programa *Drought and Man* bajo mi dirección.

El desarrollo del programa fue relatado en la historia de IFIAS, publicada años más tarde, en 1988, por Nils K. Stähle, Sam Nilsson y Per Lindblom bajo el título *From Vision to Action, Science and Global Development*, 1971-1986.

> *La sequía y el hombre* fue, en su momento, el mayor proyecto de IFIAS, tanto por la cantidad de personas involucradas, como por el financiamiento que obtuvo. Walter Roberts acertó en nombrar como director de proyecto al Profesor Rolando García de Argentina.
> (...)
> García había establecido una reputación importante como secretario general del Programa de Investigación Global de la Atmósfera (GARP), establecido en Ginebra, Suiza. Especialista en dinámica de fluidos y en climatología, García contaba, además, con una importante trayectoria como filósofo y como epistemólogo. Durante su estadía en Ginebra colaboró de manera muy estrecha con Jean Piaget. Ambos habían publicado una importante obra epistemológica.
> (...)
> El programa estaba establecido en el Instituto Internacional de Estudios Superiores (miembro de IFIAS) en Ginebra. Esto no sólo dio a García una oportunidad para continuar su cooperación con Piaget, sino que lo mantuvo estrechamente vinculado a la Organización Meteorológica Mundial. (p.34-35)

En efecto, de manera paralela, pero íntimamente relacionada a mi participación en los proyectos del GARP, colaboraba con Jean Piaget en el Centro Internacional de Epistemología Genética y preparábamos juntos la publicación de *Psicogénesis e Historia de la Ciencia*, editado casi de manera simultánea en México (1982) y en Francia (1983). El enfoque multi-cultural y transdisciplinario de IFIAS sobre los problemas globales era totalmente coherente, tanto con el constructivismo genético cuya fundamentación histórica desarrollaba con Piaget, como con las críticas que entonces manifestaba en contra de la institucionalización académica de las diferentes disciplinas científicas.

> García era sumamente crítico del modelo Occidental de especialización en las universidades, lo cual, a su juicio, conducía, por una parte, al aislamiento y a la arrogancia y, por otra parte, a impedir la cooperación

> interdisciplinaria. Pero, al mismo tiempo, García reconocía la necesidad de especialización como una de las condiciones para un fructífero trabajo interdiscip1inario. (p.34-35)

El equipo nuclear de trabajo se estableció en el Instituto de Ginebra y formamos una docena de grupos de contacto en América Latina, África, Asia y Europa. Desarrollamos, además, un estudio especial de cambio climático en la Unión Soviética.

Gracias a la adopción de una metodología común que nos permitió comparar los resultados obtenidos en cada uno de los centros de estudio, pudimos identificar las raíces de la catástrofe desatada por la anomalía climática. Estas no se encontraban en sequías temporales o en la sobrepoblación, aunque estos dos factores hubieran contribuido indudablemente. Las operaciones de emergencia como las de la Cruz Roja, por ejemplo, aunque fueran importantes en el corto plazo, no podrían resolver el problema subyacente a la vulnerabilidad socio-económica.

Si no hubiera sido por el vasto material empírico que reunimos y por la solidez de la fundamentación teórica avalada por mi estrecha colaboración con Piaget, las implicaciones ideológicas de tan contundentes conclusiones hubieran puesto en riesgo la publicación de los resultados.

> García estaba comprometido ideológicamente. Su inclinación ideológica llevó a desacuerdos con Roberts quien sentía que las observaciones de García estaban teñidas por sus convicciones. Sin embargo, García era, y sigue siendo, tal y como fue quedando claro de manera creciente a medida que avanzaba el proyecto *La sequía y el hombre*, un estructura1ista.
> (...)
> García concluyó que la catástrofe estaba cimentada en la estructura socio-económica erigida durante décadas y que, por consiguiente, no se podía culpar a un único factor: la sequía.
> (...)
> *Nature Pleads not Guilty* es el título provocador del primero de los tres volúmenes en los que se publicaron

> los resultados. Aquí García propone, por primera vez, un modelo estructural para explicar los cambios hechos por el hombre en los sistemas agrícolas que se habían apartado de los sistemas tradicionales, menos vulnerables.
> (...)
>
> Algunas de las ideas del modelo estructural propuesto por García, provenían de la teoría de Ilya Prigogine sobre los sistemas disipativos, pero la mayor parte del modelo estaba basado en el trabajo personal de García. (p. 35-36)

El dictum *Nature Pleads not Guilty*, conclusión y título de uno de los volúmenes donde publicamos los resultados del programa de IFIAS, significó el punto de partida para el desarrollo de una metodología crítica de las concepciones que establecen las relaciones causales sin valor explicativo y que, sin embargo, constituyeron entonces (y, lamentablemente, siguen constituyendo) el marco conceptual para la intervención práctica en momentos de crisis.

Así, el programa "La sequía y el hombre" constituyó el punto de partida de varias décadas de investigaciones realizadas en distintos países, a lo largo de las cuales fui desarrollando la teoría de sistemas complejos que rebasó el campo de los fenómenos naturales y de su impacto social para ser aplicado al estudio de temas tan diversos como el desarrollo tecnológico, la familia o la historia del libro como objeto cultural.

Paralelamente, el desarrollo de la fundamentación epistemológica del constructivismo genético, me llevó a publicar, más de 15 años después de la aparición de los volúmenes conjuntos con Piaget, *El conocimiento en construcción: de las formulaciones de Jean Piaget a la Teoría de los Sistemas Complejos* (2000). Allí pude articular el desarrollo de la epistemología genética con la metodología de los sistemas complejos desarrollada a partir del trabajo de campo.

Tal y como su título indica, la intención de la obra fue poner de manifiesto el carácter empírico (pero no-empirista) de la epistemología genética, no sólo porque su fundamentación es

empírica sino porque, a su vez, fundamenta una concepción conceptual y metodológica particular: la investigación interdisciplinaria de los sistemas complejos.

A raíz de las dificultades de acceso a los trabajos de campo publicados de manera dispersa, surgió la necesidad de realizar una compilación que explicara de manera concreta y ejemplificada esta metodología que, históricamente, fue tanto la base como el resultado de investigaciones epistemológicas.

En un momento en el que la teoría y la práctica parecen haberse divorciado dando lugar a frases jocosas pero dramáticamente realistas (como, por ejemplo, "en la práctica, la teoría es otra"), en el que el "método científico", reducido a una serie de pasos a modo de receta de cocina, ha sido extensamente criticado pero sin que se hayan desarrollado (o, en este caso, difundido) alternativas sólidas en las que sustentar las investigaciones (particularmente aquellas que involucran a la sociedad), el presente volumen tiene la virtud de exponer, con ejemplos reales obtenidos gracias a numerosas investigaciones de campo, el vínculo entre las concepciones teóricas desarrolladas en el marco de la epistemología genética con respecto a la construcción del conocimiento y una metodología práctica de investigación para el estudio de problemas que involucren a la sociedad.

Pero, además, aunque los datos concretos de los ejemplos citados han perdido actualidad, las problemáticas que plantean siguen, lamentablemente, siendo vigentes. Con respecto a los llamados "desastres naturales", por ejemplo, la terminología que se sigue empleando hoy en día insiste en designar a la naturaleza como responsable directo. Las advertencias y recomendaciones de IFIAS cayeron en el olvido y la situación que analizamos entonces en el Sahel se repite hoy en el Amazonas ... *mutatis mutandis*. De ahí que el valor de los estudios reunidos en el presente volumen no se limite al de su carácter ejemplificativo sino que constituyen, además, una crítica a las pseudoexplicaciones que siguen dictando intervenciones estériles y soluciones únicamente parciales.

2. COMPLEJIDAD E INTERDISCIPLINA

En los más de 30 años a lo largo de los cuales fuimos desarrollando la Teoría de los Sistemas Complejos, los términos utilizados fueron adoptados y desarrollados en el marco de propuestas distintas a la nuestra. Es por ello que resulta necesario explicar cuál es el sentido particular que asignamos a los términos "complejidad" e "interdisciplina".

2.1 COMPLEJIDAD

Con respecto al término "complejidad", las dificultades no sólo se derivan del significado que le han atribuido otros autores, sino de su popularización, incluso en sectores académicos de gran reputación, como sinónimo de "complicado" (ver, por ejemplo, Fogelman 1991).

Edgar Morin, uno de los filósofos más prominentes de la actualidad, en su obra mayor que lleva por título general *La Méthode*, publicada a partir de 1977 y que actualmente cuenta ya con 6 tomos, se refiere a la complejidad en los siguientes términos:

> La complejidad se impone de entrada como imposibilidad de simplificar; ella surge allí donde la unidad compleja produce sus emergencias, allí donde se pierden las distinciones y claridades en las identidades y causalidades, allí donde los desórdenes y las incertidumbres perturban los fenómenos, allí donde el sujeto-observador sorprende su propio rostro en el objeto de observación, allí donde las antinomias hacen divagar el curso del razonamiento. (p. 377)

Y más adelante agrega:

> La complejidad emerge como obscurecimiento, desorden, incertidumbre, antinomia. Esto mismo, que ha provocado la ruina de la física clásica, construye la complejidad de la *physis* nueva. Lo que equivale a decir que (...) fecunda un nuevo tipo de comprensión y de explicación que es el pensamiento complejo [el cual] se

> forja y se desarrolla en el movimiento mismo donde un nuevo saber sobre la organización y una nueva organización del saber se nutren mutuamente. (p. 378)

El gran prestigio de Morin en su propio campo no parece transferible a otros dominios. Las afirmaciones que hemos citado bordean una posición oscurantista y no se justifican frente al desarrollo histórico de la ciencia. En primer lugar, no hubo tal "ruina de la física clásica". En segundo lugar, "la complejidad de la física nueva" no se caracteriza por el "obscurecimiento, desorden, incertidumbre y antinomia". Dicho de otra manera, ni la física de Newton está en ruinas, puesto que se sigue aplicando para lanzar un misil que destruya la casa de un supuesto terrorista, ni "la física nueva" (suponiendo que Morin se refiera a la Relatividad y a la Mecánica Cuántica) "emergió como obscurecimiento y desorden".

El extraordinario auge de las neurociencias constituye, en contradicción con el análisis de Morin, uno de los casos más claros de cómo se desarrolla la ciencia moderna. Tomaré sólo un ejemplo referido a procesos recientemente estudiados: el caso de las transmisiones neuronales en los canales de calcio. Allí se ha descubierto que una proteína específica (la proteína G) actúa como inhibidor de los movimientos de censores de voltaje en la apertura del canal. En este hallazgo se han articulado tres disciplinas (biología, física y química). A través de una interacción entre procesos biofísicos y procesos bioquímicos, integrados en un mecanismo biológico, ha sido posible explicar la apertura o cierre de los canales neuronales. Para llegar a explicar un mecanismo de gran complejidad, fue necesario desarrollar instrumentos de laboratorio capaces de detectar cambios ocurridos en una escala temporal de milésimas de segundo. ¿Dónde está el "obscurecimiento" y el "desorden" en la articulación de las disciplinas que, con tan preciso dispositivo experimental, permiten ir corroborando teorías sobre el funcionamiento del cerebro humano?

No obstante sus inaceptables extrapolaciones y generalizaciones, es indiscutible que Edgar Morin contribuyó a demoler las bases del racionalismo tradicional que había penetrado tan profundamente en el sistema educativo francés (fundamentado en el *Discurso del Método* de Descartes). Sin embargo, su crítica no ofrece una formulación precisa de los problemas que enuncia (problemas que el cartesianismo dejó pendientes y que corresponden al campo de la teoría del conocimiento) como para conducir a una metodología de trabajo aplicable a las situaciones concretas que él considera como "complejas".

Quien más se acerca al objetivo de consolidar una propuesta metodológica de estas problemáticas es Jean Louis Le Moigne, organizador y presidente del Programa Europeo *Modelisation de la Complexité* y el más fiel de los colaboradores de Morin. Le Moigne, en su obra *La Théorie du Systéme Général* (1977), se inspira en los planteos clásicos de Bertalanffy y menciona, como autores de "las obras esenciales" de referencia, un abanico de nombres que incluye a Jean Piaget, Gastón Bachelard, Alexander Koyré, Paul Válery, y el premio Nobel de Economía, Herbert Simon. Sin embargo, Le Moigne no dilucida en qué sentido considera que dichos autores desarrollan una fundamentación clara de lo que pudiera significar una alternativa metodológica frente a la problemática de la complejidad.

En nuestra concepción de los sistemas complejos, lo que está en juego es la relación entre el *objeto de estudio* y las *disciplinas* a partir de las cuales realizamos el estudio. En dicha relación, la complejidad está asociada con la imposibilidad de considerar aspectos particulares de un fenómeno, proceso o situación a partir de una disciplina específica.

En otros términos, en el "mundo real", las situaciones y los procesos no se presentan de manera que puedan ser clasificados por su correspondencia con alguna disciplina en particular. En ese sentido, podemos hablar de una *realidad compleja.* Un *sistema complejo* es una *representación* de un *recorte* de esa realidad, conceptualizado como una *totalidad organizada* (de ahí la denominación de *sistema)*, en la cual los elementos no son "separables" y, por tanto, no pueden ser estudiados aisladamente. En los primeros casos estudiados bajo esta perspectiva me refería a dicha característica como una "determinación mutua"

entre los elementos del sistema complejo. Pero tal terminología parecía hacer referencia a una relación causal recíproca. Es por ello que en los trabajos posteriores introduje el concepto de "interdefinibilidad" para disipar tal confusión (Pablo González Casanova ha adoptado y valorizado este concepto de "interdefinibilidad" en su reciente obra *Las Nuevas Ciencias y las Humanidades, 2004).*

2.2 INTERDISCIPLINA

El término "interdisciplina", por su parte, requiere de un análisis más detallado para deslindado de significados equívocos como el que lo considera equivalente a la "integración disciplinaria".

Uno de los autores más reconocidos por su vigoroso alegato a favor de una integración disciplinaria, en particular en las ciencias sociales es Immanuel Wallerstein. En su libro *Unthinking Social Science,* 1991 (publicado en francés ese mismo año, bajo el título *Impenser la science sociale),* expone sus argumentos de la siguiente manera:

> Las ciencias sociales se dividen en "disciplinas" que, según los objetos estudiados, forman conjuntos teóricos coherentes y separados. Entre estas disciplinas se cuentan más frecuentemente la antropología, la economía, la ciencia política y la sociología (se puede seguramente agregar otras, como la geografía). Por otra parte, hay divergencia sobre la identidad de la Historia: ¿es o no una "ciencia social"? (p. 271)
>
> (...)
>
> Entre esas grandes "disciplinas", uno se pregunta hoy si se pueden justificar las fronteras en nombre de criterios suficientemente claros y serios. (...) En la práctica, todos los criterios en vigor -nivel de análisis, campos temáticos, métodos, presupuestos teóricos-, ya no son válidos. Podemos, asimismo, afirmar que las diferencias reconocidas de objeto, de método o de trabajo teórico, son mayores en el seno de las "disciplinas”

> que entre ellas. Dicho de otra manera, en la práctica, las disciplinas se traslapan de manera creciente a lo largo de su evolución histórica. En breve: esas cuatro disciplinas son en realidad una sola. (p. 274)

A pesar de la claridad con la que Wallerstein expone su planteamiento, sus argumentos no explican una "integración" disciplinaria, sólo denuncian un "traslape" que ejemplifica de la siguiente manera:

> Seguramente, los investigadores en ciencias sociales no harán, con todo, el mismo trabajo: en cada "campo de investigación" hace falta una "especialización" y, aparentemente, ella existe. A este respecto, por una vez, la institución nos muestra un ejemplo revelador. Antes de 1945, la botánica y la zoología formaban instituciones distintas; en los diez años siguientes se reunieron en una sola disciplina: la biología. Esta se desarrolló luego en múltiples campos secundarios, pero ninguno de ellos, en mi conocimiento, retornó el nombre y los contornos de las viejas disciplinas, zoología y botánica. (p. 274)

La historia de la ciencia contradice las consideraciones de Wallerstein: el nacimiento de la Biología como disciplina científica no se debe a un maridaje entre zoólogos y botánicos que diera lugar a la dinastía de los biólogos, sino que constituyó la más profunda reconceptualización y reorganización del estudio de los seres vivientes en su 'totalidad. Sin embargo, Wallerstein insiste en evocar referencias históricas para desarrollar su defensa de la "integración interdisciplinaria":

> Después de la post-guerra, se convirtió en moda el deplorar las fronteras artificiales elevadas entre las disciplinas; se recomiendan sin cesar los méritos de la enseñanza y de la investigación "interdisciplinaria". Se invocan dos argumentos. En primer lugar, un enfoque combinando los puntos de vista de diferentes disciplinas puede enriquecer el análisis de los "campos problemáticos". Por ejemplo, reuniendo los conocimientos que ofrecen la economía, la ciencia política y la sociología, se puede estudiar con provecho las

> cuestiones de "trabajo". La lógica de este enfoque conduce a crear equipos pluridisciplinarios. La segunda razón es ligeramente diferente. Con el progreso de la investigación, se torna claro que numerosos temas se sitúan en la "frontera" de dos o varias disciplinas. Por ejemplo, la "lingüística" se sitúa sobre una frontera de este tipo. (p. 271)

La investigación interdisciplinaria que exige el estudio de un sistema complejo, tal y como lo desarrollaremos en el presente volumen, es fundamentalmente diferente de la integración disciplinaria que Wallerstein invoca.

En primer lugar, ninguna investigación particular tiene la capacidad de integrar diferentes disciplinas. Los procesos de integración disciplinaria (al igual que los procesos de diferenciación que han dado lugar a cada una de las disciplinas científicas), han significado replanteamientos fundamentales que no se limitan a "poner juntos" (o a "separar") los conocimientos de diferentes dominios.

En segundo lugar, además de no ser posible, la "integración disciplinaria" en una investigación en particular no es "necesaria", puesto que el análisis histórico de la ciencia permite poner en evidencia que las diferentes disciplinas científicas se van integrando a lo largo de su desarrollo. Dicho de otra manera, la integración disciplinaria es un hecho histórico y una característica del desarrollo científico que no resulta de la voluntad (y de los acuerdos) de un grupo de investigación y que no puede constituir, entonces, una pretensión metodológica.

3. DESARROLLO HISTÓRICO DE LOS PROCESOS DE DIFERENCIACIÓN Y DE INTEGRACIÓN DE LAS DISCIPLINAS CIENTÍFICAS

Una de las principales causas de interés en la clasificación de las ciencias, quizás desde la biblioteca de Alejandría en adelante, ha sido la preocupación de los bibliotecarios por el ordenamiento de los libros. Con mucha frecuencia, la base para distinguir una disciplina como una "ciencia separada de las otras" fue

simplemente el uso de un término, como lo señaló Kotarbinski (1966) agudamente: "Se suele considerar que 'filosofía' es una ciencia específica: quienes así lo hacen clasifican como 'filosofía' todo aquello, y sólo aquello, que alguna vez fue designado así".

La antigüedad clásica no estableció diferencias entre el estudio de los problemas de la naturaleza y los del hombre. En la Física de Aristóteles, por ejemplo, el movimiento se refiere, tanto al desplazamiento de los cuerpos, como al pasaje de la enfermedad a la salud, o de la ignorancia al conocimiento.

Desde Platón, y hasta el siglo XVIII, las ciencias se agruparon de acuerdo con las "facultades del alma" que "actuaban" predominantemente en cada una de ellas. Francis Bacon, en plena época de Galileo, todavía defendía la vigencia de esta clasificación:

> Es una partición muy verdadera del conocimiento humano, aquélla que se extrae de las facultades del alma racional, la cual es el asiento propio del conocimiento: la historia corresponde a la memoria, la poesía a la imaginación, la filosofía a la razón.

La famosa Enciclopedia Francesa de D' Alambert y Diderot adoptó la clasificación de Bacon. Pero es D' Alambert quien, en el "Discurso Preliminar" (1751) de esta magna obra, señala que el proyecto se basa en una reflexión sobre la unidad del saber y las relaciones de dependencia entre las ciencias:

> Se ha aplicado felizmente el Álgebra a la Geometría, la Geometría a la Mecánica, y cada una de estas tres ciencias a todas las otras, de las cuales ellas son la base y los fundamentos.

A comienzos del siglo XIX, la clasificación propuesta por Comte significó un avance considerable, en tanto modificó el criterio de clasificación, eliminando la referencia a las "facultades" y centrándolo en las relaciones entre los dominios

del conocimiento. Esta nueva clasificación ya no constituye un simple ordenamiento basado en las características propias de los dominios de cada ciencia. La segunda lección de su *Curso de Filosofía Positiva* (1830-1842) se titula: "Consideraciones generales sobre la jerarquía de las ciencias positivas". Allí introduce una "escala enciclopédica" con una forma de organización que designa como el sistema de las ciencias.

Las numerosas clasificaciones posteriores continuaron poniendo el énfasis en las relaciones entre las disciplinas. Tal concepción sistémica condujo, de manera creciente, a tomar en cuenta dependencias e interrelaciones de carácter dinámico, es decir, a considerar tanto las transformaciones que fueron sufriendo las disciplinas existentes, como los procesos de surgimiento de nuevas disciplinas.

La historia de la Química, de la Biología y de la Sociología -entre los siglos XVIII y XIX- muestra cómo cada una se fue "abriendo paso", adquiriendo creciente identidad y status científico en relación con las disciplinas ya establecidas. El propio Comte, que había negado inicialmente el carácter de ciencia a la Química condenando como "metafísica" la idea de afinidad, trató luego de introducida en su clasificación, definiéndola con referencia a las disciplinas vecinas (la física y la biología). Cada una de las disciplinas fue evolucionando, en gran medida, en función de las interrelaciones que se fueron estableciendo entre ellas. Quizá el caso más conocido sea la historia de las etapas de diferenciación e integración que se fueron dando entre el álgebra y la geometría (a partir de Descartes) y entre la geometría y la física (desde Euclides hasta Einstein).

La proliferación de las ramas de la ciencia, que tuvo lugar en los siglos posteriores, así como las disciplinas particulares referidas a determinados campos del conocimiento, no surgieron de manera aislada en cada uno de sus dominios específicos. Las nuevas disciplinas se fueron conformando a través de una alternancia de procesos de diferenciación e integración. Esto significa que las disciplinas se fueron desarrollando de manera *articulada,* y que las formas de articulación también

evolucionaron, respondiendo a desarrollos propios dentro de cada disciplina.

Las nuevas disciplinas que se han designado acoplando los nombres de dos ciencias diferentes (Fisicoquímica, Biofísica, etc.) corresponden a casos en los que, fenómenos o procesos que entran en el dominio de una de ellas, se interpretan o explican a partir del campo teórico de la otra ciencia. Fue el caso de la Fisicoquímica que se constituyó como disciplina cuando la Física desarrolló la teoría atómica y pudo explicar las combinaciones químicas.

Independientemente de las articulaciones que se han ido constituyendo entre disciplinas correspondientes a ciertos dominios diferenciados, en otros dominios cuyas fronteras son mucho más permeables, las relaciones entre disciplinas han dado lugar a reconceptualizaciones generales de los fenómenos involucrados en el dominio en cuestión. Lucien Goldmann (1952) describió con mucha claridad la reconceptualización que resultó de la relación entre las disciplinas pertenecientes al dominio más permeable del conocimiento científico: el de las Ciencias Sociales.

> Todo hecho social es un hecho histórico e inversamente. La historia y la filosofía estudian los mismos fenómenos, y si cada una de ellas toma sólo un aspecto de la realidad, el resultado será una imagen parcial y abstracta, en tanto ella no sea completada con los aportes de la otra.
> (...)
> No se trata de reunir los resultados de la Sociología y de la Historia,
> sino de abandonar toda Sociología y toda Historia abstractas, para llegar a una ciencia concreta de los hechos humanos que no puede ser sino una Sociología Histórica o una Historia Sociológica. (p. 9)

A diferencia, por ejemplo, del caso de la Biofísica que antes expusimos, en el planteo de Goldmann no se trata de una teoría que, desde cierta disciplina, explique hechos o fenómenos de

otra disciplina. Goldmann no hace referencia a una teoría histórica que explique un fenómeno o situación social, sino a un cambio de concepción de una Sociología enfocada en el análisis de hechos, a una Sociología basada en el estudio de procesos y de sus raíces históricas. En este caso no se trata, entonces, de una integración de teorías, sino de una reconceptualización de las disciplinas

Además de los procesos de transformación en el interior de las ciencias naturales o de las disciplinas sociales, la frontera entre ambos dominios ha dado lugar a toda clase de análisis y controversias.

El jurista ingés Jeremy Bentham y el físico francés André Ampére introdujeron de manera neta la dicotomía entre ciencias de la naturaleza y ciencias del hombre. Ambos desarrollaron sendas clasificaciones, muy profusas y con abundantes neologismos, en un esfuerzo por organizar "todos" los campos del conocimiento.

Ampére introdujo una primera dicotomía entre lo que él llamó "ciencias cosmológicas" y "ciencias noológicas" (nombre derivado del *nous* griego). A partir de esta dicotomía básica, sucesivas dicotomías agrupan finalmente "formas de conocimiento de la realidad" en tres niveles. El tercero de ellos contiene 128 "ciencias especiales", muchas de las cuales son producto de la imaginación de Ampére.

Las "ciencias cosmológicas" y las "ciencias noológicas" corresponden, con excepción de las matemáticas, a lo que Wundt llamaría luego "ciencias de la naturaleza" y "ciencias del espíritu". Una dicotomía similar, entre "ciencias nomotéticas" y "ciencias ideográficas", fue vigorosamente defendida por Windelband. Con ciertas variantes, Rickert y Dilthey se convirtieron en los máximos exponentes de esta posición.

Los argumentos utilizados entonces no pueden ser aceptados hoy en día como válidos, aunque siguen siendo defendidos por no pocos científicos sociales. En su época, sin embargo, estuvieron plenamente justificados. Para entender por qué surgieron con tanta fuerza, es necesario remitimos a su contexto histórico.

En la segunda mitad del siglo XIX, la concepción newtoniana de la ciencia estaba en su apogeo. Las ideas de Newton, contenidas en la obra cumbre de la revolución científica del siglo XVII, *Mathematieal PrincipIes of Natural Philosophy*, habían sido rechazadas por los cartesianos que las calificaban de meras descripciones geométricas, sin contenido explicativo. Fueron los propios franceses, sin embargo, quienes, en el transcurso del siglo XVIII, contribuyeron sustancialmente a completar y ofrecer pruebas empíricas de la teoría. En el siglo siguiente, dos eminentes pensadores, William Thomson (Lord Kelvin) y Helrnholtz, afirmaban, con expresiones similares, que ninguna teoría científica sería aceptable como tal "si no pudiera ser expresada en términos de la física newtoniana". Las "meras descripciones" de la mecánica de Newton, que ni siquiera eran admitidas como "Física", habían pasado a ser, en poco más de un siglo, el paradigma dominante de toda la ciencia.

La reacción contra esta posición es explicable y ampliamente justificada. No se cuestionó que la "explicación científica" de los fenómenos de la naturaleza consistiera en reducir todos los cambios del *mundo físico* al movimiento de masas materiales bajo la acción de "fuerzas centrales" independientes del tiempo; no se cuestionó que todo lo que ocurre en el *mundo físico* se reduzca a la mecánica de los átomos; lo que no podía aceptarse era que los hechos pertenecientes a lo que Rickert llamó la "ciencia histórica" o "ciencia cultural" fueran susceptibles de tal reducción. Quienes se negaban a aplicar el paradigma newtoniano a las humanidades tenían razón. Lo que no sospechaban era que dicho paradigma tampoco era aplicable a los fenómenos de las "ciencias de la naturaleza", excepto en un dominio muy restringido, y que la concepción newtoniana de la Física había caducado.

Con la revolución científica que tuvo lugar a comienzos del siglo XX, entraron en crisis los conceptos más básicos de la ciencia: espacio, tiempo, causalidad, materia. La crisis obligó a una reconsideración de los fundamentos mismos de toda ciencia, lo cual condujo, ineludiblemente, a un análisis en profundidad de problemas epistemológicos. Esta tarea fue emprendida por las

poderosas escuelas neopositivistas (Viena, Berlín), quienes intentaron una reformulación rigurosa de las posiciones empiristas que culminarían en el Empirismo Lógico. A partir de allí se inició el más ambicioso intento de unificación de todas las ciencias desde una perspectiva estrictamente reduccionista.

Sin abundar en los detalles de lo que significó la enorme tarea de la "reconstrucción racional de la ciencia" que emprendió el empirismo lógico, seguido por otras escuelas empiristas afines, es necesario señalar que estas posiciones dominaron la filosofía de la ciencia durante la primera mitad del siglo y que su influencia ha sido tan extraordinaria que sus concepciones perduran aún, explícita o implícitamente, en la concepción de la ciencia de muchos científicos, particularmente en el mundo anglosajón.

La principal reacción se produjo a mediados del siglo XX desde la historia de la ciencia. Kuhn, Russell Hanson y Toulmin, entre otros, pudieron demostrar que la evolución histórica de las teorías científicas no respondía a la imagen de la ciencia que emergía de dichas posiciones empiristas. Fue necesaria, sin embargo, la crítica proveniente de otras corrientes epistemológicas para poner en tela de juicio las premisas que les servían de fundamento. Aquí nos circunscribiremos a considerar las tesis referentes a la "unidad de la ciencia" ya la solución reduccionista. Uno de los más conspicuos representantes de la escuela, Rudolph Carnap (1955), resume la posición en los siguientes términos:

> No hay, en el presente, unidad de las leyes. La construcción de un sistema homogéneo para la totalidad de la ciencia es un objetivo para el futuro desarrollo de la ciencia. No puede demostrarse que este objetivo sea inalcanzable. Pero está claro que no sabemos si podrá ser logrado. Por otra parte, hay una unidad de lenguaje en la ciencia, es decir, una base común de reducción para los términos de todas las ramas de la ciencia, y esta base consiste en un estrecho y homogéneo conjunto de términos del lenguaje de objetos físicos *(the physical thing-language).* (...) Podemos proponernos

> desarrollar la ciencia cada vez más en la dirección de un sistema unificado de leyes sólo en virtud de contar, ya en el presente, con un lenguaje unificado. (p. 62)

El problema que se plantea Carnap es similar al que nos planteamos nosotros. En efecto, él sostiene, en la misma página de la cita anterior, que "el uso práctico de las leyes consiste en hacer predicciones con su auxilio", y que, en situaciones complejas, "una predicción no puede estar basada en nuestro conocimiento de una sola rama de la ciencia".

Carnap encuentra la solución de este problema en la "unidad de lenguaje" de todas las ciencias:

> Si los términos de diferentes ramas no tuvieran conexión entre sí, tal como lo permite la base homogénea de reducción, sino que fueran de carácter completamente diferente, como lo suponen algunos filósofos, luego no sería posible relacionar enunciados particulares y leyes de diferentes dominios, de manera que se puedan deducir predicciones a partir de ellos. (p. 61)

El planteo del problema es correcto, pero la solución no resiste a la crítica. Además de las dificultades epistemológicas que encontramos en esta formulación, las objeciones que tenemos contra las posiciones reduccionistas pueden englobarse en una sola, que es también aplicable a las diversas clasificaciones de la ciencia a las cuales hemos hecho referencia: la ambigüedad en el uso del término "ciencia" y la arbitrariedad, tanto en los criterios de comparabilidad, como en la identificación de las interrelaciones entre las disciplinas.

Quien ofreció la más lúcida y profunda formulación sobre los problemas involucrados en las interrelaciones entre las grandes disciplinas científicas, fue Jean Piaget, tanto en su estudio "El sistema y la clasificación de las ciencias" (1967), como en su análisis sobre "La situación de las ciencias del hombre en el sistema de las ciencias" (1970).

La propuesta piagetiana, apoyada en una concepción

constructivista de la teoría del conocimiento, presenta una concepción de lo que él llama "el sistema de las ciencias" como "una estructura de orden cíclico e irreductible a toda forma lineal". Aceptando una agrupación de las ciencias en cuatro grandes conjuntos (ciencias lógico-matemáticas; ciencias-físicas; ciencias biológicas y ciencias psico-sociológicas), Piaget comienza por establecer que el término "ciencia" recubre cuatro grandes dominios o niveles, en cada uno de los cuales las disciplinas se relacionan entre sí de manera diferente:

a) Dominio material, definido como el conjunto de "objetos" a los cuales se refiere cada disciplina (números, funciones, objetos físicos o biológicos, energía, operaciones mentales, clases sociales).

b) Dominio conceptual, definido como el conjunto de teorías o conocimientos sistematizados elaborados por cada ciencia acerca de su dominio material.

c) Dominio epistemológico interno, que corresponde al análisis de los fundamentos de cada disciplina, es decir, a la crítica de su aparato conceptual y de las teorías de su dominio conceptual.

d) Dominio epistemológico derivado, que analiza las relaciones entre el sujeto y el objeto de conocimiento, es decir, el marco epistemológico más general de los resultados obtenidos por cada disciplina, comparándolo con el de las otras ciencias.

El análisis piagetiano muestra el carácter cíclico de las relaciones entre las disciplinas en los dominios *a* y *d*, así como la complejidad de las interrelaciones entre los cuatro grandes grupos de ciencias, dentro de cada dominio. Se puede aceptar o rechazar este análisis en sus detalles, pero es indudable que echa por tierra, tanto la ingenuidad de las propuestas reduccionistas, como las posiciones irreductibles de quienes ven en la "especificidad" de cada dominio material un obstáculo para el estudio interdisciplinario con una metodología general e integrativa. La propuesta piagetiana responde así a la

preocupación de Carnap, pero con una solución de gran riqueza que no arrasa con la especificidad de las distintas disciplinas, sino que muestra los fundamentos epistemológicos de sus múltiples articulaciones.

Los sistemas complejos están constituidos por elementos heterogéneos en interacción -y de allí su denominación de complejos-, lo cual significa que sus subsistemas pertenecen a los "dominios materiales" de muy diversas disciplinas. La concepción piagetiana del "sistema de ciencias", con sus dominios circulares y su red de interrelaciones, remueve todo obstáculo teórico para articular los estudios que se realicen en los diversos dominios materiales. Esto no significa, sin embargo, que sea fácil superar las dificultades prácticas de articulación de tales estudios.

La interdisciplina supone la integración de diferentes *enfoques disciplinarios,* para lo cual es necesario que cada uno de los miembros de un equipo de investigación sea experto en su propia disciplina. En este sentido, el equipo de investigación es multidisciplinario. La diferencia fundamental entre una investigación interdisciplinaria y las llamadas investigaciones multi (o "trans") disciplinarias está en el modo de concebir una problemática y en el común denominador que comparten los miembros de un equipo de investigación.

Mientras que en el caso de las investigaciones multidisciplinarias se suelen sumar los aportes que cada investigador realiza desde su disciplina particular en torno a una problemática general que puede ser analizada desde diferentes perspectivas, una investigación interdisciplinaria supone la integración de estos diferentes enfoques para (es decir previa a) la delimitación de una problemática. Dicho de otra manera, mientras que en un caso lo que se integra son los resultados de diferentes estudios sobre una problemática común, en el caso de la interdisciplina la integración de los diferentes enfoques está en la delimitación de la problemática. Ello supone concebir cualquier problemática como un sistema cuyos elementos están interdefinidos y cuyo estudio requiere de la coordinación de enfoques disciplinarios que deben ser integrados en un enfoque

común. De ahí que la interdisciplina implique el estudio de problemáticas concebidas como sistemas complejos y que el estudio de sistemas complejos exija de la investigación interdisciplinaria.

La delimitación de un sistema complejo no sólo requiere de una concepción común entre los miembros del equipo de investigación sobre la problemática general a estudiar, sino también de una base conceptual común y de una concepción compartida de la investigación científica y de sus relaciones con la sociedad.

4. CIENCIA Y SOCIEDAD EN LA INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA DE SISTEMAS COMPLEJOS

La concepción de Lucien Goldmann que antes expusimos sobre el carácter social de cualquier hecho histórico y sobre el carácter histórico de cualquier hecho social, constituyó la base del análisis que realizamos con Piaget en *Psicogénesis e Historia de la Ciencia* y que puso en evidencia el rol prominente del contexto social (entendido en el sentido más amplio del término, es decir, incluyendo los factores económicos y políticos) en el desarrollo histórico de la ciencia.

Allí caracterizamos dos componentes diferenciables en la relación ciencia-sociedad. Por una parte, ciertas sociedades, dentro de ciertas culturas, en momentos históricos determinados, y dependiendo de diversos factores (en particular políticos y económicos), condicionan un tipo de ciencia que imprime una direccionalidad particular a la investigación. A esto fue a lo que denominamos *la componente sociológica* cuyo análisis corresponde a la *Sociología de la Ciencia.*

Por otra parte, existe otra componente que tiene que ver con la forma en la cual se desarrolló la ciencia en su contenido interno, es decir, en sus marcos conceptuales y en la conformación de las teorías, y que generalmente corresponden a una cierta concepción del mundo, es decir, a un cierto *Weltanschauung.* Hemos llamado a esto la *componente socio-genética* cuyo análisis corresponde a *la Historia de la Ciencia* y

a la *Epistemología*.

En el caso de la investigación experimental de laboratorio, la conciencia que tenga un investigador en particular sobre la construcción del objeto de estudio y sobre el modo en que la sociedad condiciona esta construcción, adquiere una importancia fundamental en los momentos de crisis interna de la ciencia o en los casos en que los resultados de dicha investigación tengan implicaciones sociales directas.

Sin embargo, en el estudio de un sistema complejo, es indispensable que dicha conciencia esté permanentemente en acción, puesto que se trata de problemáticas globales donde los factores sociales juegan un rol fundamental. La concepción tanto sociológica como socio-genética de la ciencia, debe, además, ser común a todos los miembros del equipo de investigación.

Por una parte, y con respecto a la componente sociológica, la investigación de un sistema complejo responde generalmente a una situación crítica frente a la cual, gobiernos, organizaciones y agencias "de ayuda", deben intervenir de manera urgente.

El contexto social general en el que se inscribe la necesidad de diseñar un proyecto de estudio de cualquier problemática global, condicionará de manera importante el tipo de preguntas que se formulen. Y las hipótesis de trabajo, que constituyen el punto de partida de un enfoque sistémico, serán fundamentales, puesto que esta metodología supone la reformulación continua de una problemática que se irá definiendo (y redefiniendo) en el transcurso de la investigación.

De la conciencia de las condicionantes sociales que determinan la direccionalidad particular que está impresa en cualquier investigación depende el carácter realmente explicativo que alcance el modelo que resulte del análisis.

Por otra parte, es igualmente necesario que los miembros de un equipo de investigación compartan un marco conceptual común, derivado de una concepción del mundo en particular.

Hemos definido el *marco epistémico* como el conjunto de preguntas o interrogantes que un investigador se plantea con

respecto al dominio de la realidad que se ha propuesto estudiar. Dicho marco epistémico representa cierta concepción del mundo y, en muchas ocasiones, expresa la jerarquía de valores del investigador. Las categorías sociales bajo las que se formula una pregunta inicial de investigación, no constituyen un hecho empírico observable sino una construcción condicionada por el marco epistémico.

En síntesis, **lo que integra a un equipo interdisciplinario para el estudio de un sistema complejo es un marco conceptual y metodológico común, derivado de una concepción compartida de la relación cienciasociedad, que permitirá definir la problemática a estudiar bajo un mismo enfoque, resultado de la especialización de cada uno de los miembros del equipo de investigación.**

5. ORGANIZACIÓN GENERAL DEL TEXTO

Presentar la totalidad de los trabajos producidos a lo largo de los más de treinta años transcurridos desde el proyecto de IFIAS no era factible. La selección de los textos comprendidos en la presente compilación obedeció a tres criterios principales.

En primer lugar, priorizamos los textos que, pese a haber sido publicados en el marco de obras colectivas, constituyen capítulos lo suficientemente autónomos como para poder ser extraídos del volumen original sin poner en riesgo su legibilidad. En segundo lugar, elegimos los estudios de caso en los cuales, aunque el material empírico haya perdido actualidad, los problemas estudiados, sigan siendo vigentes. En tercer lugar, seleccionamos textos que presentan problemáticas distintas, dejando de lado todos los primeros estudios enfocados a los (mal) llamados "desastres naturales". Por una parte, la extensión de dichos trabajos ameritaría la publicación de un texto enteramente consagrado a este tema y, por otra parte, dado que éste fue el terreno de gestación de nuestra propuesta, y al que le dedicamos varios años de investigación, un lector desprevenido

podría considerar que nuestra metodología se limita al análisis de estos problemas concretos.

Hemos introducido únicamente las correcciones indispensables para independizar cada uno de los textos de su contexto original de publicación con el fin de permitir lecturas parciales de la obra. Sin embargo, considerando también la posibilidad de una lectura exhaustiva, hemos organizado los textos de manera tal que la continuidad en los contenidos favorezca una comprensión global de la teoría. Este modo de organización no corresponde, por tanto, a una secuencia cronológica.

En cada uno de los capítulos, el lector encontrará un análisis fundamentado epistemológicamente y particularmente enfocado al estudio de casos concretos. Sin embargo, cada capítulo desarrolla con mayor profundidad algún aspecto particular de la teoría. De manera general, el capítulo 1 está particularmente enfocado a ofrecer una síntesis de los principales conceptos, fundamentos e implicaciones metodológicas de nuestra propuesta. El capítulo 2 retorna estos planteamientos generales para introducir el estudio de un caso concreto. El capítulo 3 desarrolla más extensamente las implicaciones prácticas de este marco conceptual y metodológico para el estudio de cualquier sistema complejo e introduce con mayor precisión el concepto de *interdefinibilidad*. El capítulo 4 analiza el rol fundamental de las ciencias sociales en la investigación interdisciplinaria. Por último, el capítulo 5 aborda todas las dificultades prácticas (administrativas, políticas, financieras y circunstanciales) que debe afrontar el estudio de problemáticas que generalmente tienen implicaciones sociales directas e inmediatas.

En todos los capítulos son continuas las referencias a ciertas corrientes de pensamiento, particularmente el empirismo lógico. La decisión de conservar dichas referencias responde a las siguientes razones:

El desarrollo paralelo de la epistemología genética y de una metodología concreta de investigación empírica implicó que ambos campos se afectaran de manera recíproca. Por una parte, el análisis epistemológico me obligó a replantearme

continuamente la terminología y las conceptualizaciones desarrolladas en un marco metodológico. Por otra parte, el desarrollo metodológico me permitió reforzar y clarificar mi concepción constructivista del conocimiento, replanteándome drásticamente mi formación empirista inicial. De hecho, es a esta primera formación filosófica a la que le debo buena parte de mis contribuciones a la epistemología genética: si pudimos refutar a la corriente filosófica más estructurada del siglo XX fue, en cierta parte, porque habiéndome formado bajo sus paradigmas, conocía profundamente a nuestro "contrincante intelectual". Si no hubiera sido un "convertido", difícilmente hubiéramos alcanzado el grado de precisión y el desarrollo minucioso que caracteriza a la epistemología genética. En este sentido, mantener vigente a tan prestigiado interlocutor permite conservar ese grado de precisión y de minuciosidad explicativa.

Pero, además, el empirismo lógico no se mantiene vigente por las concesiones que pudiéramos hacer sus contrincantes, sino porque sigue dominando el pensamiento de la mayor parte de los sectores del ámbito académico. Aun quienes defienden posiciones antiempiristas, el lenguaje que emplean, los diseños experimentales que implementan y las metodologías de investigación que desarrollan, ponen de manifiesto un pensamiento claramente positivista. De ahí que el diálogo con el empirismo se mantenga vigente, y de ahí que hayamos decidido conservar las referencias constantes a esta corriente epistemológica.

CAPITULO I

Conceptos básicos para el estudio de sistemas complejos

El estudio de un ecosistema natural que ha sufrido la acción del hombre, ya sea por medio de la explotación de sus recursos, renovables o no renovables (agrosistemas e industrias extractivas), o bien por la instalación de asentamientos humanos de diversos tipos, incluyendo las grandes urbanizaciones y las obras de infraestructura, supone la consideración del conjunto de los elementos que intervienen en tales procesos (y de los procesos sociales, económicos y políticos a ellos asociados), de sus partes o factores constitutivos, sus interrelaciones y sus interacciones con otros fenómenos o procesos. Es decir, supone concebir el objeto de estudio como un *sistema complejo*. La teoría de los sistemas complejos constituye una propuesta para abordar el estudio de tales sistemas. Se trata, en primera instancia, de una metodología de trabajo interdisciplinario, pero es, al mismo tiempo, un marco conceptual que fundamenta, sobre bases epistemológicas, el trabajo interdisciplinario.

l. DEFINIBILIDAD DE UN SISTEMA COMPLEJO

Ningún sistema está *dado* en el punto de partida de la investigación. El sistema no está definido, pero es definible. Una definición adecuada sólo puede surgir en el transcurso de la propia investigación y para cada caso particular.

La información anterior no constituye una proposición metodológica, aunque las implicaciones metodológicas son obvias. Su fundamentación es estrictamente epistemológica. En efecto, la afirmación allí contenida es antiempirista, en tanto niega que las características del sistema estén dadas y sean accesibles a la experiencia directa de cualquier "observador neutro".

Conviene insistir, desde un comienzo, en que una posición “antiempirista” no significa “antiempírica”. El tipo de ciencia del cual nos ocupamos es, sin duda alguna, empírica. Ninguna explicación sobre el comportamiento de un sistema será aceptable si las constataciones empíricas las refutan, si las observaciones y los hechos que se intentan interpretar no concuerdan con las afirmaciones de la interpretación propuesta. Pero ahí no está el problema. La dificultad reside en dos palabras clave: *observación* y *hechos.* En términos generales, el empirismo es una teoría según la cual hay "observables" que: *a)* constituyen el punto de partida de todo conocimiento; *b)* se dan directamente en la percepción; *c)* son "neutros", es decir, los mismos para todos los individuos y comunes a todas las disciplinas. Los observables son, para un empirista como Carnap, "los contenidos de la experiencia inmediata y, por tanto, los hechos cognoscibles más simples". En esto coincide Popper, tenaz crítico de Carnap, cuando expresa su acuerdo: "solamente nos percatamos de los hechos por la observación". En su forma extrema, que fue el positivismo lógico, el empirismo sostuvo que todas las afirmaciones de una teoría científica, para tener "sentido", deben ser reducibles a aserciones acerca de fenómenos (hechos) expresados en un lenguaje que sólo se refiera a "observables". En esta versión, en la más pura tradición del método inductivo de Francis Bacon, la ciencia procede, a partir de hechos particulares, por generalizaciones que conducen a las leyes y-a las teorías.

Esta posición dominó la filosofía de la ciencia durante la primera mitad del siglo XX, particularmente en el mundo anglosajón. Su influencia en la *práctica* científica ha sido tan persistente que, aún hoy, y a pesar de las serias objeciones y refutaciones a las que fue sometida a partir de la década de los años cincuenta, sigue alimentando -explícita o implícitamente- el pensamiento de los científicos no habituados a la reflexión epistemológica.

En las expresiones citadas, la utilización de los términos "observable" y "hechos" es ambigua. Tomadas en sentido literal, las afirmaciones empiristas son insostenibles. El propio

empirismo lógico hizo la crítica a las posiciones que adoptó en un comienzo frente a dichos términos. Pero tal crítica no fue más allá de mostrar las dificultades de traducir, en el lenguaje de los observables, las aserciones científicas que contienen términos teóricos. Las objeciones son, sin embargo, mucho más profundas.

1.1 DATOS, OBSERVABLES Y HECHOS

Si las características de un sistema complejo no están *dadas*, no son observables" en el sentido que postuló el positivismo lógico, es decir, accesibles a la "experiencia directa", es porque no ha y tal cosa como una "lectura directa" de la experiencia. El filósofo e historiador de la ciencia, Russell Hanson (1958), acuñó a este respecto, una expresión feliz: "Toda experiencia está cargada de teoría." El sentido que Hanson le da a esta afirmación puede apreciarse en la cita siguiente:

> El niño y el profano pueden ver: ellos no son ciegos. Pero ellos no pueden ver lo que ve el físico: ellos son ciegos con respecto a lo que éste ve. Nosotros podemos no oír que el oboe está desafinado, aunque esto sea dolorosamente obvio para un músico (quien, incidentalmente no oye los tonos y los *interpreta* como estando desacorde sino que simplemente *oye* el oboe desafinado. Nosotros simplemente vemos la hora; el cirujano simplemente ve la herida aséptica; el físico ve el sobrecalentamiento del ánodo del tubo de rayos X). Hay un número indefinidamente grande de maneras de ver constelaciones de líneas, formas, manchas. *Por qué* una configuración visual *puede ser vista diferentemente*, es cuestión de la psicología; pero *que puede verse diferentemente* es una cuestión importante en cualquier análisis de los conceptos de ver y observar.

Desde una posición diferente, y a partir de un sólido análisis episternológico, la psicología genética desarrollada por Jean Piaget había demostrado (¡empíricamente!), mucho tiempo antes, que no hay "observables puros", es decir, que todo observable, aun aquellos que parecen provenir de la percepción directa de las propiedades elementales de los objetos, suponen

una previa *construcción* de relaciones por parte del sujeto.

Más de medio siglo de minuciosos trabajos experimentales muestran que la "percepción" de los objetos como tales, distribuidos en el espacio y con una cierta continuidad en el tiempo, si bien es temprana en los niños, no es innata. El espacio y el tiempo "dentro" del cual se ubican los objetos que constituyen nuestra experiencia cotidiana, requieren un largo proceso de elaboración. Pero las relaciones espacio temporales no constituyen el único sistema de relaciones. Que objetos de muy diversa forma y de distintas coloraciones sean igualmente "tomates", y sean diferentes de otros objetos que son "manzanas", aunque entre dos tomates dados haya mayores diferencias de forma y color que entre ciertos tomates y ciertas manzanas, requiere de mucha experiencia acumulada para poder ser "percibido", y de la organización de estas experiencias de acuerdo a ciertas estructuras conceptuales.

Mientras que algunos *observables* se organizan como tales muy tempranamente en la infancia y constituyen la base de la experiencia común de todos los individuos, otros se organizan a edad más avanzada, y otros requieren alto grado de sofisticación de las teorías científicas. En *cada nivel* hay observables que parecen obvios, inmediatos, accesibles a la experiencia con sólo mirar y oír (directamente o con instrumentos). Pero tales *observables* constituyen *formas de organización* de datos de la experiencia que fueron elaboradas en niveles anteflores.

Alguien que sepa poco o nada de psicología puede hoy (¡no en el siglo XIX!) "observar" un "acto fallido" cometido por su amigo. Que un error al hablar sea un "acto fallido" supone, sin embargo, a Freud y a su teoría.

Por vía muy diferente llega Marx a concepciones epistemológicas similares. Sólo así puede entenderse su afirmación tantas veces citada (aunque pocas veces analizada en todas sus implicaciones epistemológicas, ni aun por quienes se consideran sus continuadores): "Lo concreto es concreto por ser una conjunción de múltiples determinaciones, o sea, unidad de la diversidad". Sostener que lo concreto sólo puede ser considerado cuando se han tomado en cuenta una multiplicidad de relaciones, equivale a afirmar que no hay "lectura pura" de la experiencia, y que toda experiencia está "cargada de teoría". *Conocer* significa establecer relaciones en una materia prima

que, sin duda, es provista por la experiencia, pero cuya organización depende del sujeto cognoscente. Esto excluye que el conocimiento de la realidad se genere por observaciones y por generalizaciones inductivas a partir de aquéllas. Esto no significa, sin embargo, caer en forma alguna de apriorismo o de idealismo. Tampoco implica sostener el subjetivismo en ninguna de sus variantes, en tanto consideramos el conocimiento como un fenómeno social y, por consiguiente, intersubjetivo.

La posición enunciada conduce a establecer algunas distinciones importantes. La primera de ellas corresponde a la diferenciación entre *datos, observables y hechos.*

Definiremos los *observables* como datos de la experiencia *ya interpretados.* Los *hechos* son *relaciones* entre observables. De aquí resulta que, cuando un investigador sale a realizar "trabajo de campo" y comienza a registrar hechos, no es, ni puede ser, un observador neutro que toma conciencia de una "realidad objetiva" y registra datos "puros" que luego procesará para llegar a una teoría explicativa de los mismos. Sus registros corresponderán a sus propios esquemas interpreta ti vos.

1.2 HECHOS Y TEORÍAS

No hemos de considerar aquí la organización de los observables en los niveles más elementales, es decir, en el período en que se establece el sistema cognoscitivo desarrollado en la infancia y en la adolescencia y que habrá de constituir la base del aparato conceptual utilizado por una persona adulta. Su análisis involucraría extensas referencias a una vasta literatura que da cuenta de las investigaciones desarrolladas por la psicología genética e interpretadas por la epistemología genética.

Aquí nos limitaremos a señalar que dichas investigaciones muestran de manera inequívoca que la organización de los observables requiere la previa construcción de instrumentos asimiladores de la experiencia, y que ese proceso de asimilación de la experiencia se repite *mutatis mutandis* en todos los niveles, hasta llegar a la construcción de las teorías científicas que dan cuenta de los fenómenos empíricos en el más alto nivel de abstracción. Una versión muy sintética de ese proceso

constructivo puede consultarse en la Introducción a *Psicogénesis e Historia de la Ciencia* (Piaget y García2).

Esta formulación plantea, sin embargo, algunos interrogantes (que suelen ser presentados por los empiristas como un intento de refutación):

- Si no hay "observables puros" y todos los observables están "cargados de teoría", ¿en qué sentido podemos afirmar que las teorías científicas son confirmadas o refutadas por la experiencia?

- ¿Puede sostenerse, sin caer en posiciones idealistas, que una teoría "genera" nuevos observables?

- ¿En qué sentido la experiencia conduce a nuevas teorizaciones?

La concepción de *niveles de conocimiento* que se van desarrollando a través de procesos constructivos permite eludir ese círculo vicioso aparente que surgiría de considerar que un observable (que lleva "incorporada" la teoría) es usado para refutar la misma teoría que lo tornó en observable. La metáfora del "círculo" debe entonces ser sustituida por la del "espiral dialéctico".

El concepto de *teoría* será utilizado aquí en un sentido muy amplio que incluye no solamente a las teorías científicas formuladas con cierto rigor, sino también al conjunto de afirmaciones y suposiciones, explícitas o implícitas, sobre la base de las cuales un investigador establece sus hipótesis o realiza sus inferencias. Llamaremos *teorizaciones* a este último tipo de conceptualizaciones no formuladas rigurosamente y que contienen generalmente un alto grado de imprecisión y de ambigüedad.

Retomemos la afirmación inicial según la cual "no hay observables puros", para reformularla en los términos de una investigación concreta abordada desde nuestra perspectiva: cuando un investigador se aboca al estudio de un problema no parte de cero, sino que pone en juego un conjunto de teorías o de teorizaciones (o un paradigma, en uno de los sentidos definidos por Kuhn), que constituyen un *corpus* de conocimiento a partir del cual abordará dicho problema, La identificación y la selección de "datos", que proveerá el soporte empírico de su estudio, estarán determinadas por dos elementos: *i)* cómo define los objetivos de su investigación orientados fundamentalmente por el tipo de preguntas a las cuales intenta responder el investigador; *ii)* cómo delimita el campo empírico, es decir, aquellos datos de la experiencia que serán privilegiados o puestos prominentemente de relieve por la investigación, en virtud de su relación con las propias concepciones del investigador, Al primer elemento lo llamaremos el *marco epistémico,* y para referirnos al segundo elemento utilizaremos la expresión *dominio empírico.*

Las definiciones que corresponden al marco epistémico y al dominio empírico se adoptan, explícita o implícitamente, en el punto de partida de la investigación y determinan, en buena medida, su derrotero. La aproximación ingenua a "la realidad", sin sentido crítico que permita detectar cómo actúan ambos elementos, puede conducir a resultados espurios. En muchos casos se pretende demostrar, al final de la investigación, lo que se introdujo subrepticiamente en un comienzo. En otros, se introducen suposiciones que sesgan la interpretación de los datos, o bien, se restringe el dominio empírico estableciendo como *hechos* lo que no es más que un recorte arbitrario de situaciones mucho más complejas.

1.3 LAS RELACIONES CAUSALES

El papel que desempeñan las teorías no se limita a su relación con *observables* y *hechos* que hasta ahora hemos caracterizado. Su función, totalmente solidaria con dicha relación, consiste en tornar inteligibles los hechos, organizados, jerarquizarlos y "explicados". Todo ello implica necesariamente establecer relaciones causales entre ellos. Las relaciones causales aparecen, desde esta perspectiva, como una "atribución" a la realidad empírica de relaciones expresadas en términos de necesidad lógica y de coherencia en el seno de la teoría. La concepción de la causalidad como una "atribución" de necesidades lógicas (teóricas) a la experiencia (observables y hechos), constituye la respuesta que surge de la epistemología piagetiana con respecto al célebre problema que planteó Hume. Nuestra concepción de la causalidad está desarrollada en Piaget y García, 1971.

Independientemente de las discusiones sobre los detalles de esta concepción de la causalidad, lo que definitivamente no es aceptable es la antigua y persistente idea baconiana de la ciencia, según la cual se llega a las relaciones causales por vía inductiva, a través de una generalización de "regularidades" observadas en la experiencia. Esto no excluye que haya leyes empíricas a las cuales se llegó por simple generalización. Pero la ciencia llega a su madurez cuando dichas leyes son explicadas por una teoría, lo cual supone que pueden deducirse del cuerpo teórico aceptado. A tal nivel teórico no se llega -como siguen sosteniendo los inductivistas- por asociación de aquellas leyes empíricas. El punto de vista según el cual las relaciones causales se establecen en el nivel teórico (aunque puedan ser "sugeridas" por la experiencia) tiene fundamental importancia para la práctica de la investigación científica. Significa, en primera instancia, reconocer que las relaciones entre observables (o entre hechos) no surgen de la simple "evidencia" empírica. Algunos ejemplos elementales pueden ayudar a precisar el sentido de esta afirmación:

- La sucesión temporal de hechos heterogéneos es continuamente interpretada de manera errónea y con una actitud netamente inductivista, como correspondiendo a

un proceso lineal de desarrollo. Se impone así una cierta relación causal a hechos que simplemente se suceden en el tiempo, pero que pertenecen a procesos estructuralmente diversos.

- De la misma manera, la yuxtaposición espacial de estructuras diversas puede ser equivocadamente considerada como si se tratara de la cuantificación de un mismo proceso, introduciendo gradientes allí donde el concepto no es aplicable.
- Inversamente, puede considerarse que se está frente a una diversidad de procesos que obedecen a orígenes diferentes. Una elaboración más adecuada conduciría, sin embargo, a identificarlos como elementos de una única estructura compleja, con un sistema de relaciones que sólo se torna "evidente" cuando se las interpreta a la luz de ciertas hipótesis sugeridas por la teoría.

2. LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA COMPLEJO

En el comienzo de este capítulo formulamos una caracterización provisoria de un *sistema complejo:* Investigar uno de tales sistemas significa estudiar un "trozo de la realidad" que incluye aspectos físicos, biológicos, sociales, económicos y políticos. Es obvio que hay múltiples formas de abordar estos sistemas, dependiendo de los objetivos que se persigan en cada programa concreto de estudio. No es obvio, sin embargo, cómo debe definirse con precisión el sistema, una vez fijados los objetivos de la investigación. En las secciones precedentes hemos intentado poner de manifiesto cuáles son los problemas epistemológicos que se interponen en el camino. Corresponde ahora señalar cómo se efectúa su recorrido.

El punto de partida está dado por el marco epistémico, que establece el tipo de pregunta -o conjunto coherente de preguntas- que especifican la orientación de la investigación. En general, es posible formular una pregunta básica o *pregunta conductora*, que guíe la selección de los componentes del sistema (es decir, los elementos, los límites del sistema, y sus interrelaciones, tanto internas como externas). Raras veces esto se puede ver claro desde un comienzo y resulta necesario

realizar más de un intento. La definición del sistema se va transformando así en el transcurso de la investigación. Veamos los problemas que presenta cada uno de estos componentes.

2.1 LÍMITES

Los sistemas complejos que se presentan en la realidad empírica carecen de límites precisos, tanto en su extensión física, como en su problemática. De aquí la inevitabilidad de establecer "recortes" o de imponer límites más o menos arbitrarios para poder definir el sistema que uno se propone estudiar. Esto plantea dos problemas estrechamente relacionados: *i)* la definición de los límites en forma tal que reduzca al mínimo posible la arbitrariedad en el recorte que se adopte; *ii)* la forma de tomar en cuenta las interacciones del sistema, así definido, con el "medio externo" o, dicho de otra manera, la influencia de lo que queda "afuera" sobre lo que queda "adentro" del sistema, y recíprocamente.

Es fundamental aclarar, desde un comienzo, que la referencia a "límites" no supone, en modo alguno, que se trata solamente de fronteras físicas. El término" límite" , así como sus correlativos" adentro" y "afuera", incluye también la problemática que se va a estudiar y el aparato conceptual que se maneja, así como el tipo de fenómenos con sus escalas espaciales y temporales. Por ejemplo, cuando se estudian las transformaciones que sufre el medio físico por cambios en la tecnología utilizada en los procesos productivos, las modificaciones del suelo en escala geológica quedan (por lo menos en principio) "afuera" del sistema.

Cuando se establecen los "límites" del sistema, se comienza, sin d da, por las fronteras geográficas (un país, una región, una selva, una urbe), para luego proseguir con otros tipos de límites menos obvios. Pueden establecerse límites entre formas de producción, de organización económica o de culturas que coexisten en una región, algunas de las cuales no son pertinentes para el estudio o lo son con menor prioridad y pueden, por consiguiente, dejarse "afuera".

Dejar "afuera" de los límites del sistema no significa necesariamente dejar fuera de consideración. En los casos en que aquello que quedó "afuera" interactúa de alguna manera con lo que quedó "adentro", su acción se toma en cuenta a través de las *condiciones de contorno* o *condiciones en los límites.* Tales condiciones se especifican en forma de *flujos* (de materia, de energía, de créditos, de información, etc.). El factor más importante que se debe tener en cuenta en el estudio de tales flujos es su velocidad de cambio.

La velocidad de cambio está estrechamente relacionada con la escala temporal de los fenómenos que se desean estudiar. Cambios en las condiciones en los límites que son muy lentos *con respecto a esa escala de tiempo*, pueden ser representados, en primera aproximación, como constantes. Si, por el contrario, las condiciones varían o fluctúan significativamente dentro de esa escala, es necesario estudiar minuciosamente esas variaciones por cuanto ellas puedan determinar reorganizaciones más o menos profundas del sistema en su conjunto.

2.2 ELEMENTOS

Los componentes de un sistema son interdefinibles, es decir, no son independientes sino que se determinan mutuamente. La elección de los límites debe realizarse en forma tal que aquello que se va a estudiar presente cierta forma de organización o *estructura.* Como la estructura está determinada, a su vez, por el conjunto de relaciones, está claro que el sistema debe incluir aquellos elementos entre los cuales se han podido detectar las relaciones más significativas. Los otros elementos quedan "afuera". Las interrelaciones entre ellos y los elementos que quedan dentro determinan las condiciones de los límites.

Los elementos del sistema suelen constituir "unidades" también complejas *(subsistemas)* que interactúan entre sí. Las relaciones entre los *subsistemas* adquieren importancia fundamental no solamente porque, como ya se ha dicho, ellas determinan la *estructura* del sistema (que -conviene insistir- está dada por el conjunto de relaciones, no por los elementos).

Dichas interrelaciones cumplen también otra función en la medida en que los subsistemas de un sistema son susceptibles de ser analizados, a su vez, como sistemas en otro nivel de estudio. En tal caso, las interrelaciones entre ellos constituyen las condiciones en los límites para cada subsistema. Debe subrayarse, sin embargo, que algunas formas de interrelación entre elementos de un sistema no constituyen flujos en sentido estricto. Esta observación se torna importante cuando se intenta aplicar modelos tipo *"input-output"* en los cuales dichas relaciones quedan excluidas.

Ningún estudio puede abarcar la totalidad de las relaciones o de las condiciones de contorno dentro de un sistema complejo (aun en el supuesto de que tenga sentido hablar de tal "totalidad"). Una vez más se presenta, entonces, la necesidad de criterios de selección.

Para la determinación de los subsistemas de un sistema es de fundamental importancia definir las escalas espaciales y temporales que se están considerando.

a) Escalas de fenómenos. Una de las dificultades que se presenta en los estudios empíricos es la distinción entre escalas de fenómenos que, aunque coexisten e interactúan, tienen una dinámica propia. Por ejemplo, en el estudio de la atmósfera, las nubes convectivas, las ondas de sotavento sobre una montaña o los ciclones tropicales, pertenecen a escalas de fenómenos cuya dinámica difiere de la que corresponde a los grandes sistemas de circulación general de la atmósfera (anticiclones, ciclones de latitudes medias, ondas largas de la tropósfera media y superior).

Los datos observacionales que pertenecen a diferentes escalas no deben mezclarse. Agregar datos de una escala inferior a los datos de una escala superior no agrega información, sólo introduce "ruido" (en el sentido de la teoría de la información). Sin embargo, las escalas interactúen el ejemplo anterior, las nubes convectivas constituyen una de las principales fuentes de

energía para los movimientos de gran escala, y éstos

a su vez, determinan condiciones que favorecen o inhiben las escalas menores. El problema que se presenta es, entonces, cómo estudiar las interacciones.

No es posible enunciar reglas generales para abordar este problema. En el ejemplo mencionado de los movimientos atmosféricos se puede demostrar que las escalas inferiores influyen en las escalas mares como "efectos integrales". Es decir, si consideramos a la escala menor como una *perturbación* de la escala mayor, la interacción se calcula como *el integral* de los flujos de movimiento y energía.

b} Escalas de tiempo. En un estudio de la dinámica de un sistema necesario analizar su historia. El período durante el cual se estudia evolución depende de la naturaleza del sistema y de la pregunta conductora de la investigación. Ambas consideraciones determinan la *escala de tiempo* de los fenómenos a estudiar. En los casos en que se busca una predicción del comportamiento del sistema, también es necesario fijar el período correspondiente. Esta escala de tiempo (escala de predicción) no coincide necesariamente con la escala de análisis, r cuanto está vinculada a la predictibilidad o impredictibilidad inherente al sistema en cuestión. En lo que respecta a la escala de análisis, aquí también se presenta, como en el caso de escalas espaciales, la posibilidad de interferencias de fenómenos con distintas escalas temporales.

Una misma perturbación en un sistema puede tener efectos diferentes. La acción de una perturbación tiene, en general, una escala temporal diferente al tiempo de reacción del sistema. Una modificación relativamente lenta de las condiciones en los límites puede producir efectos súbitos en un sistema que está cerca del *umbral de inestabilidad*. De ahí la necesidad de un análisis riguroso de las escalas temporales.

2.3 ESTRUCTURAS

Un gran número de propiedades de un sistema quedan determinadas por su estructura y no por sus elementos. Claro está que las propiedades de los elementos determinan las relaciones entre ellos y, por consiguiente, la estructura. Pero las propiedades de los elementos y las propiedades de la estructura corresponden a dos niveles de análisis diferentes.

El énfasis en la determinación de las propiedades estructurales de un sistema no significa en modo alguno caer en posiciones estructuralistas que han sido ampliamente debatidas en la literatura. La diferencia con tales posiciones reside en el hecho de que, desde la perspectiva de los sistemas complejos, la identificación de las propiedades de la estructura en un período dado, que depende de la escala de los fenómenos a estudiar, adquiere importancia fundamental en el estudio de la *evolución* del sistema. En efecto, son las propiedades estructurales del sistema quienes determinan su estabilidad o inestabilidad con respecto a cierto tipo de perturbaciones. La inestabilidad está, a su vez, asociada a los procesos de desestructuración y reestructuración del sistema. Son estos procesos, y no la estructura misma, quienes constituyen el objetivo fundamental de análisis. Se trata, pues, de un estudio de la *dinámica* del sistema y no de estudio de un *estado* en un momento dado.

Este enfoque particular del estudio de las estructuras de un sistema ha sido designado por diversos autores como "estructuralismo genérico". Las estructuras no son consideradas como "formas" rígidas en condiciones de equilibrio estático, sino como el conjunto de relaciones dentro de un sistema *organizado* que se mantiene en condiciones estacionarias (para ciertas escalas de fenómenos y escalas de tiempo), mediante procesos dinámicos de regulación. Este concepto, si bien adquirió precisión con referencia a sistemas físicos, no está restringido a éstos ni nació con ellos. La Escuela de Bruselas, dirigida por Ilya Prigogine, designó estos sistemas con el nombre de "sistemas disipativos" y desarrolló su estudio sistemático basado en la termodinámica de los sistemas abiertos (procesos irreversibles).

Lucien Goldmann ha sido, sin duda, quien vio con más

claridad, dentro del campo marxista, el papel del concepto de estructura en el estudio de la problemática de las ciencias sociales. Goldmann hace una aplicación muy amplia del análisis de estructuras en filosofía y en literatura, sobre todo en sus magníficos ensayos de interpretación de la filosofía de Pascal y del teatro de Racine. Goldmann identifica la "estructura" con la "coherencia interna", y define esta última como un conjunto de relaciones necesarias entre los diferentes elementos que constituyen la obra que él analiza. De tal forma que es imposible estudiar de manera válida los elementos de la obra fuera del conjunto del cual forma parte: es el conjunto lo que determina su naturaleza y su significación objetiva.

En otros términos, el investigador llega a comprender la significación de cada elemento de la obra sólo después que ha captado su estructura. Claro que, para Goldmann (1959), la captación de esa estructura global está vinculada a una finalidad de la obra, la cual traduce una cierta "visión del mundo" que es característica del autor y de su época. Pero poner en relación la obra de un autor con la visión del mundo característico de su época exige, por parte del investigador, "el esfuerzo necesario para hacer accesible su significación mediante el esclarecimiento de los rasgos generales de una *estructura parcial*, que sólo podría ser entendida en la medida en que ella misma se encuentra involucrada en el *estudio genético* de una *estructura más vasta*, cuya génesis es la única que puede elucidar la mayoría de los problemas que el investigador se había planteado al comienzo de su trabajo. Se sobreentiende que el estudio de esa estructura más vasta exigiría, a su vez, su inclusión en otra estructura relativa que lo abarcara, etc.".

No hay aquí, como podría suponerse, un regreso infinito. En el caso concreto de los estudios de Goldmann sobre Pascal y Racine, la estructura más amplia está dada por el jansenismo, cuya interpretación remite al estudio de las características de la monarquía y la "nobleza de toga" en el período jansenista; estudio que, a su vez, requiere una comprensión de una estructura aún más vasta referida a las características de la lucha de clases y de las relaciones de poder en la Francia del siglo XVII. Esta "jerarquía de estructuras", expresada en un lenguaje un tanto diferente, juega un papel central en el estudio de cualquier sistema complejo.

La metodología explicada y aplicada por Goldmann, por otra parte, traduce y amplía la conceptualización que hace Marx acerca de la "totalidad" y de las relaciones entre las partes y el todo. Amplía dicha conceptualización porque, además de poner énfasis en la articulación entre las partes y la totalidad, establece una articulación que podríamos considerar "de segundo orden" entre totalidades que corresponden a lo que llamaremos *niveles de explicación* diferentes. Por otra parte -y éste es un aporte fundamental- establece, sin decido tan explícitamente, que cuando Marx habla de una "rica totalidad de múltiples determinaciones y relaciones", se está refiriendo a una totalidad que, en el lenguaje post Marx, llamaremos *totalidad estructurada*. Y lo de "lenguaje post-Marx" no está dicho al azar. Causa asombro la reticencia de muchos marxistas en usar el concepto de estructura. Marx no lo usó nunca, simplemente porque dicho concepto no pertenecía al lenguaje de la época. La razón no es difícil de descubrir: la lógica de mediados del siglo XIX era incapaz de definir un concepto de ese tipo. Apegada todavía a la tradición aristotélica, no existía aún una lógica de relaciones. Aristóteles y todos sus seguidores sólo manejaron la relación de inclusión, y ninguna estructura compleja es expresable en términos de inclusiones.

Hoy podemos expresar ciertos conceptos usados en otros siglos con un lenguaje actual capaz de darles mayor claridad y precisión. Si en el siglo XIX se decía que "no es posible comprender los elementos de una totalidad fuera de la totalidad de la cual forman parte, puesto que es la totalidad quien determina su naturaleza y su significación objetiva", hoy en día podemos expresar esto mismo en términos de *sistemas*, *elementos* y *estructuras*. No se trata solamente, sin embargo, de utilizar un lenguaje *a la mode*. Se trata, más bien, de disponer de instrumentos de análisis más poderosos que los utilizados en el siglo XIX.

El término *sistema* es, en el marco de esta propuesta, utilizado como sinónimo de *totalidad organizada*. No hay, pues, conexión alguna entre la teoría de sistemas complejos y lo que suele llamarse "análisis de sistemas" o "ingeniería de sistemas". Sería deseable no utilizar esa palabra, pero es difícil remplazarla. Por otra parte, los mismos que critican insistentemente su utilización porque no pueden evitar asociada

con el "análisis de sistemas", se indignarían si uno les atribuyera posiciones platónicas, aristotélicas o kantianas cuando usan la palabra "dialéctica" utilizada por Platón, Aristóteles y Kant (aunque la lista es mucho más larga), con sentidos que difieren considerablemente entre sí, o con el sentido que le dieron Hegel y Marx.

El problema no reside, pues, en la introducción de términos como "sistema" y "estructura". El problema surge porque se supone -Saussure y la lingüística mediante - que, al introducir el concepto de estructura, dejamos de lado ese otro concepto que juega un papel tan central en la teoría marxista: la historicidad. Tal presunción es falsa. El estudio de las estructuras de los sistemas no sólo *no excluye* la historicidad, sino que -debemos decido con todo *énfasis-la explica*. Y la razón no es paradójica: el estudio de las estructuras de un sistema tiene hoy, como tema central-y el "hoy" abarca los últimos veinte o treinta años-, el estudio de los mecanismos de estructuración y desestructuración, lo cual permite analizar cuándo y cómo se transforma una estructura. En eso consiste la evolución histórica de una totalidad. La paradoja no está allí. La paradoja está en que el *materialismo histórico* de Marx provee el primer *ejemplo histórico* de un estudio que muestra cómo evoluciona un sistema estructurado. El segundo ejemplo lo dio la psicología genética. Ni Marx ni Piaget sabían que estaban descubriendo, en las ciencias sociales, los mecanismos de evolución de sistemas disipativos (nombre horrible, pero consagrado). Piaget se enteró hacia el final de su vida.

3. PROCESOS Y NIVELES DE ANÁLISIS

El nudo central del análisis de la dinámica de los sistemas es el estudio de procesos. Los procesos describen los cambios que tienen lugar en el sistema. Pero ello requiere efectuar una cuidadosa distinción entre niveles de procesos, así como entre niveles de análisis.

3.1 NIVELES DE PROCESOS

Ciertos procesos pueden ser llamados básicos o de *primer nivel*. Ellos constituyen, generalmente, el efecto local sobre el medio físico o sobre la sociedad que lo habita y lo explota, de procesos más amplios que tienen lugar en otros niveles. La identificación de aquellos procesos que serán catalogados como básicos en una investigación determinada depende, fundamentalmente, del marco epistémico que orienta la investigación, así como de la delimitación de su dominio empírico.

En general, los estudios correspondientes al *primer nivel* constituyen análisis complejos de carácter diagnóstico, que buscan describir la situación real y sus tendencias en el nivel fenomenológico más inmediato. Tales análisis incluyen observaciones, mediciones, encuestas, entrevistas, etc., dependiendo de las áreas de trabajo y de la metodología particular de las distintas disciplinas que intervienen en el estudio. Las consideraciones epistemológicas antes expuestas muestran que dichos análisis pueden ser limitados, sesgados o aun irrelevantes, si los *observables* y los *hechos* que se "registren" no son identificados o interpretados a partir de un marco conceptual adecuado a la naturaleza del problema en estudio.

Un *segundo nivel* corresponde a procesos más generales que llamaremos *metaprocesos,* y que gobiernan o determinan los procesos de primer nivel. Los metaprocesos pueden, a su vez, estar determinados por procesos de *tercer nivel.*

Daremos un ejemplo muy simple. Si estamos considerando un proceso de primer nivel, tal como la erosión o la salinización, los cambios introducidos en la tecnología agrícola pueden constituir un metaproceso, mientras que los cambios en el mercado o en la orientación de los créditos para la agricultura corresponderían a un proceso de tercer nivel.

En el caso concreto del estudio del sistema alimentario en cierta sociedad, distinguimos tres niveles que, en forma muy abreviada, pueden describirse de la manera siguiente:

1) *Procesos de primer nivel:* cambios producidos en el medio físico, en los métodos de producción, en las condiciones de vida y en el sistema de relaciones socioeconómicas, asociados a modificaciones del sistema productivo en la región.

2) *Procesos de segundo nivelo metaprocesos:* las modificaciones en el sistema productivo, tales como el desarrollo de cultivos comerciales, el desarrollo de la ganadería, la implantación de industrias extractivas manufactureras, etc., que indujeron cambios significativos en el primer nivel.

3) *Procesos de tercer nivel:* políticas nacionales de desarrollo, modificaciones del mercado internacional, internacionalización de capitales, etc., que determinan la dinámica de los procesos de segundo nivel.

3.2 NIVELES DE ANÁLISIS

Los distintos niveles de procesos requieren, obviamente, niveles de análisis correspondientes. Es imposible establecer sus características sin referirnos a ejemplos concretos, a menos de caer en generalidades de escaso o ningún valor práctico.

La Conferencia Mundial de Alimentos convocada por la FAO en 1974 se llevo a cabo en un momento dramático. La proclamada "crisis alimentaria" había dejado al mundo, según se adujo, al límite mismo de sus "reservas de alimentos". La "seguridad alimentaria mundial" -expresión acuñada en ese período- estaba en serio peligro: las reservas de granos de los países exportadores sólo alcanzaban para pocas semanas de consumo mundial.

Los expertos se lanzaron a la búsqueda de los culpables. No les fue difícil encontrarlos: las catástrofes "naturales" (fundamentalmente, las sequías prolongadas); la superpob1ación; la incapacidad de los países "en vías de desarrollo" para incrementar su producción al ritmo de su crecimiento demográfico; la ignorancia de aquellos campesinos que, por razones culturales o de educación, no se habían incorporado a la modernización de la agricultura.

Vinieron luego las soluciones: programas de control de la natalidad asistencia técnica para mejorar los métodos de producción y aumentar la productividad. Había que reproducirse menos y producir más.

Cuando asumí la dirección del programa SAS (Sistemas Alimentarios y Sociedad) auspiciado por UNRISD (Instituto de Investigaciones de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social) no desconocimos la importancia de factores tales como la demografía y la productividad; sin embargo sostuvimos como hipótesis inicial que, en la crisis alimentaria, había causas sociales, económicas y políticas más profundas.

Los proyectos de investigación sobre problemas alimentarios que se habían puesto en marcha en diversas naciones del Tercer Mundo eran ya numerosos. Un nuevo intento no se hubiera justificado no hubiera una perspectiva distinta que ofrecer.

Las investigaciones corrientes dentro de este campo daban aceptado, explícita o implícitamente, que la relación población-producción era el eje del problema. De aquí que se centrara la atención conceptos tales como "seguridad alimentaria" (definida en términos de reservas de granos) y "autosuficiencia" alimentaria (definida en términos de la demanda efectiva). El énfasis, en estos casos, estaba puesto en el aumento de la productividad. Las investigaciones que se arrollan bajo esta perspectiva, se concentran en los eslabones de cadena producción -procesamiento-distribución -consumo (referido te último también a la demanda efectiva).

El programa SAS fue concebido en términos diferentes. El mar epistémico varió y, por consiguiente, cambió el dominio empírico investigación. La pregunta conductora no se refería a la cantidad producción, al aumento de la productividad o a los circuitos de distribución

comercial de alimentos (lo cual no significó, en modo alguno, ignorar o dejar de lado estos problemas).

Desde una concepción socioeconómica diferente, el programa SAS se planteó la siguiente pregunta conductora: ¿cómo y porqué se ha modificado el *acceso a los alimentos,* por parte de los sectores populares? A partir de esta cuestión central, el dominio empírico ya no se restringió a "seguir al alimento" desde su producción hasta el consumo. El estudio se orientó principalmente a la investigación de las relaciones medio físico-producción-sociedad, y a la identificación de los factores que alteraron dichas relaciones. El tipo de observables y de hechos en los cuales se centró el análisis fue bien diferente al de aquellos que se consideraban como la base de los estudios sobre sistemas alimentarios. El marco conceptual adoptado fue lo que nos condujo a identificar procesos de naturaleza diferente, correspondientes a los tres niveles antes caracterizados, así como a un análisis de naturaleza diferente para cada nivel.

Las diferencias entre los niveles de análisis son fundamentales. Hay una primera diferencia en la escala de los fenómenos: los procesos de primer nivel son esencialmente locales (aunque tengan un alto grado de generalidad en cuanto a su repetición en zonas extensas o en lugares diversos). Los procesos de segundo nivel son regionales o nacionales. Los de tercer nivel son nacionales e internacionales. Los tres niveles tienen dinámicas diferentes y actores diferentes. Están, sin embargo, claramente interrelacionados: el análisis de los procesos del tercer nivel provee una explicación de los procesos del segundo nivel; el análisis de este último provee una explicación de los procesos del primer nivel.

Los estudios realizados sobre sistemas alimentarios ponen en evidencia que los grandes cambios introducidos en el sistema productivo, inducidos desde el segundo y el tercer nivel, han producido resultados que, con un alto grado de generalidad, pueden resumirse en los dos puntos siguientes: utilización abusiva del medio físico, con la consiguiente degradación, muchas veces irreversible, y marginación de sectores sociales que ven deteriorarse sus niveles de vida, particularmente en lo que respecta a las condiciones de trabajo y a los niveles

de nutrición. Es importante señalar que todo esto puede ir acompañado de un aumento general de la producción y de la productividad, y de la incorporación en el agro de los más refinados métodos de "modernización" de la agricultura.

4. DINÁMICA DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS

4.1 ESTADOS ESTACIONARIOS

Los sistemas complejos son sistemas *abiertos:* carecen de límites bien definidos y realizan intercambios con el medio externo. No se trata de sistemas estáticos con una estructura rígida. Sin embargo, cuando las condiciones de contorno sufren sólo pequeñas variaciones con respecte a un valor medio, el sistema se mantiene *estacionario,* es decir, las relaciones entre sus elementos fluctúan, sin que se transforme su estructura.

La dinámica de estos sistemas abiertos ha sido estudiada con toda precisión en numerosos casos de sistemas físicos, químicos y biológicos. La Escuela de Bruselas, dirigida por Ilya Prigogine ha liderado estos desarrollos a partir de la termodinámica de los procesos irreversibles ha logrado establecer una teoría de los *sistemas disipativos* que ha conducido, a nuestro juicio, a uno de los avances más espectaculares de ciencia contemporánea. Su importancia, para el estudio de los sistemas complejos que nos conciernen, reside en su carácter unificador de si mas que pertenecen al dominio de las más diversas disciplinas. Unificar, sin embargo, no significa reducir el estudio de los fenómenos de un dominio al estudio de los fenómenos de otro dominio, como fue el caso las concepciones fisicalistas que propugnó el empirismo lógico. Se trata, por el contrario, de estudiar los fenómenos dentro de su propio dominio, con sus características específicas. Esto no es obstáculo para haber descubierto mecanismos que son comunes a los más diversos sistemas que correspondan a propiedades estructurales. Estos mecanismos comunes

permiten darle sentido al estudio de la evolución de sistemas complejos, considerados como una totalidad, no obstante la heterogeneidad su composición que incluye elementos físicos, químicos, biológicos y sociales. Los intentos de integración interdisciplinaria de los estudios adquieren así nuevas posibilidades.

Desde la perspectiva de los sistemas complejos, el análisis estructural, concebido dentro del marco conceptual del estructuralismo genético, está lejos de imponer limitaciones al estudio, condenándolo a considerar solamente situaciones estáticas (o a estudiar un sistema, que esencialmente dinámico, como si fuera estático). Por el contrario, tal tipo de análisis ha permitido (en muchos casos por primera vez) poner en evidencia los mecanismos profundos que rigen las *transformaciones* de un sistema.

A fin de aclarar el sentido de las afirmaciones precedentes es necesario precisar algunos conceptos.

Deben distinguirse dos tipos bien diferenciados de estados estacionarios: aquellos que corresponden a situaciones de equilibrio (como, por ejemplo, el equilibrio termodinámico de un sistema aislado), y aquellos e, alejados del estado de equilibrio, se mantienen estacionarios por la ión de los intercambios con el medio. Un ejemplo típico del segundo es el de un organismo biológico que se mantiene con alteraciones mínimas (oscilaciones alrededor de un "estado medio" durante un período dado de tiempo) gracias a que, en su interacción con el medio externo, se producen intercambios que corresponden, fundamentalmente, tanto a la ingestión y excreción de alimentos, como a las funciones respiratoria y transpiratoria. El sistema se mantiene en condiciones estacionarias, pero lejos del equilibrio. Si cesan los intercambios con el exterior, el sistema llega a un estado de equilibrio que es la muerte.

4.2 DESESTRUCTURACIÓN Y REESTRUCTURACIÓN

Todo sistema abierto (auto-organizado) está sometido a perturbaciones que pueden ser de muy diversas escalas. Dichas perturbaciones

pueden ser de carácter *exógeno* (las cuales se traducen en modificaciones de las condiciones de contorno) o de carácter *endógeno* (modificaciones de alguno de los parámetros que determinan las relaciones dentro del sistema). Si para cierta escala de perturbaciones estas modificaciones oscilan dentro de ciertos límites sin alterar la estructura del sistema, diremos que el *sistema es estable con respecto a dicha escala de perturbaciones*. En estos casos, las perturbaciones son amortiguadas o incorporadas al sistema. Cuando no ocurre ninguna de ambas alternativas, el sistema no puede "absorber" la perturbación. El sistema se torna inestable y ocurre una disrupción de su estructura.

La evolución de un sistema, después de haber pasado el umbral de la inestabilidad, puede variar de diversas maneras. El caso más interesante tiene lugar cuando la inestabilidad se desencadena por una acción que corresponde a una modificación de las condiciones de contorno. Bajo estas nuevas condiciones de contorno, el sistema se *reorganiza* hasta adoptar una nueva *estructura* que puede mantenerse estacionaria mientras no varíen esas nuevas condiciones de contorno. El sistema vuelve a ser estacionario, pero con una estructura diferente a la anterior. La teoría matemática de la estabilidad e inestabilidad estructural es sumamente compleja y no existe una clasificación sistemática de las formas posibles de evolución de un sistema. René Thom ha estudiado a fondo el problema en el caso particular de ciertos sistemas, para los cuales la clasificación es posible, tal como aparece en su teoría de las catástrofes. Sin embargo, las condiciones de aplicabilidad de esta teoría son muy restrictivas debido a sus limitaciones matemáticas.

Diversos seminarios sobre este tema con físicos, biólogos y sociólogos, así como el estudio de diferentes sistemas complejos, nos han obligado a realizar un análisis más detallado de los mecanismos de desestructuración y reestructuración de sistemas, así como de regulación de sus condiciones de estabilidad. Ello nos ha conducido a profundizar en el tipo de relaciones causales que operan en tales mecanismos. Expondremos a continuación los lineamientos generales.

En los sistemas complejos pueden distinguirse procesos de diferente nivel, vinculados entre sí por relaciones estructurales y cuya interacción

no es mecánica ni lineal. Los casos más interesantes corresponden a situaciones de *estructuras imbricadas*, generalmente con diferentes escalas de fenómenos y con dinámicas muy distintas. Así, por ejemplo, las contracciones y dilataciones del corazón pueden estudiarse en por lo menos tres niveles: el nivel orgánico (en el cual las dilataciones están relacionadas con el volumen y la presión del flujo de sangre, los movimientos de las válvulas, etc.); el nivel celular (dilataciones y contracciones de las fibras, con los desplazamientos de las fibras duras y blandas en las sarcómeras); y el nivel molecular (donde se vinculan las proteínas contráctiles con la liberación de calcio y diversos procesos enzimáticos). Cada estructura de un nivel dado forma parte de un sub sistema del sistema del nivel superior. Las relaciones causal es entre estos subsistemas con estructuras imbricadas no pueden reducirse a acciones mecánicas como las que vinculan el vaivén del émbolo del motor con el movimiento de las ruedas del automóvil.

Esquemáticamente, las relaciones estructurales podrían resumirse de la siguiente manera: cuando las perturbaciones provenientes de un subsistema exceden un cierto umbral, ponen en acción mecanismos del siguiente nivel; estos últimos obedecen a una dinámica propia que puede actuar como reguladora, contrarrestando la perturbación, o bien puede desencadenar procesos que reorganizan la estructura. Es importante señalar, a este respecto, que el "efecto" que se obtenga sobre la estructura del segundo nivel está regido por sus condiciones de estabilidad y no guarda relación directa con las perturbaciones que lo originaron ("causa") y que sólo desencadenan el proceso.

Los sistemas complejos que hemos estudiado tienden a confirmar que el estudio de su evolución debe ser abordado como un problema de imbricación de estructuras. En el caso de los desastres ocasionados por ciertos fenómenos naturales, los efectos no dependen tanto de la intensidad del fenómeno físico como de la estructura socioeconómica de las comunidades afectadas.

5. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Retornemos el ejemplo del programa SAS para aplicar a él las ideas precedentes sobre la dinámica de los sistemas disipativos. Nos referiremos en particular a uno de los casos de estudio que forman parte del programa: la introducción del cultivo de sorgo en la región del Bajío, en la República Mexicana, con su impacto sobre el medio físico y sobre la sociedad (ejemplo desarrollado en García *et aI8)*.

Para realizar este estudio fue necesario recortar una parte de la realidad socioeconómica, cultural, política y física de la región, es decir, identificar un sistema con sus elementos, sus relaciones internas significativas y sus condiciones de contorno. Los cortes fueron determinados por la problemática planteada en cada etapa de la investigación. La definición de los límites del sistema requirió, además, una selección de las escalas temporales y espaciales de los fenómenos a estudiar, así como de los elementos conceptuales que provienen del análisis de las situaciones sociales, económicas y políticas pertinentes.

Durante la marcha de la investigación fue necesario examinar el sistema de estudio por medio de un desglose de éste en áreas problemáticas específicas -agrupaciones sistémicas de elementos estrechamente vinculados a las mismas- denominados subsistemas. Se consideraron tres subsistemas: *a)* medio físico; *b)* agroproductivo, y e) socioeconómico.

Cada uno de estos subsistemas comprende, a su vez, diversos subsubsistemas con complejas relaciones internas, pero que están suficientemente bien diferenciados como para ser considerados unidades de análisis cuyas propiedades integrales y relaciones mutuas definen las características del sistema total.

Para su estudio se procedió a definir las escalas espaciales y temporales en que debe ser abordado el problema, acorde con la naturaleza de los fenómenos examinados. Desde esta perspectiva, resultó evidente que la comprensión de los fenómenos que conciernen al subsistema físico requería abarcar la totalidad del territorio que comprende la región del Bajío.

Por su parte, en los subsistemas agroproductivo y socioeconómico fue suficiente con tomar, como la mayor escala espacial de estudio, el estado de Guanajuato, por ser altamente representativo de la región en su conjunto. Sin embargo, el estudio se pudo concentrar en unidades de análisis menores, muy significativas, como son el Distrito de Riego número 11, la "Zona de Estudio" y, en particular, el municipio de Valle de Santiago.

El Distrito de Riego número 11 es el núcleo central del sistema hidráulico del Bajío guanajuatense, iniciado en 1949 con la construcción de la presa Solís. Dentro del mismo, la denominada "Zona de Estudio", constituida por los municipios de Jaral del Progreso y Valle de Santiago y Cortazar, es una unidad física bien definida y con una historia política y social muy semejante. Este corredor agrícola es uno de los centros más dinámicos de la región, por su larga tradición en la producción de granos y por la buena calidad de sus tierras.

El municipio de Valle de Santiago (pionero en la introducción del sorgo) es el más importante de la "Zona de Estudio" y conforma la escala menor donde el análisis fue más detallado. En él aparecen con mayor nitidez los elementos estudiados y sus interacciones, así como la interacción que se da entre los distintos subsistemas. En lo que respecta a la escala temporal, las distinciones entre los subsistemas fue fundamental. El subsistema físico requirió referencias a épocas geológicas para comprender algunos aspectos de la naturaleza de los suelos, mientras que el estudio de la evolución del sistema hidrológico (considerado como subsubsistema del subsistema físico) pudo comenzar en la época de la colonia. Por su parte, el componente fundamental del subsistema socio económico fue la tenencia de la tierra, cuya escala temporal está principalmente referida a la época de la reforma agraria. Finalmente, el subsistema agroproductivo marcó claramente un *período crítico* comprendido en las últimas dos décadas, durante el cual tuvo lugar el gran cambio determinado por la irrupción del sorgo como producción dominante.

Esta diversidad de escalas temporales no afectó la unidad del sistema que se estudió como tal durante el período crítico. En efecto, durante tal período, cada subsistema participó del sistema total en función de su *propia historia*. El estudio

sincrónico del sistema en un momento dado incorporó así la dinámica de los estudios diacrónicos realizados en cada subsistema.

La teoría de los sistemas disipativos señala que los cambios sufridos por un sistema complejo, sometido a modificaciones significativas en sus condiciones de contorno, no son continuos ni lineales, sino que implican cambios estructurales en sucesión más o menos rápida que corresponde a distintos niveles de autoorganización del sistema. Está claro que la expresión "modificaciones significativas", así como la nocontinuidad del proceso de cambio estructural y la "rapidez" de tales cambios, son todos conceptos referidos a la escala de fenómenos que se está considerando. En el caso particular de este estudio, la escala pertinente fue del orden de dos décadas.

Al comienzo de este período, el sistema estaba en una situación estacionaria, con una producción predominante de maíz y frijol y con una organización socio económica estabilizada. La introducción masiva de un nuevo cultivo (el sorgo), mediante sistemas de crédito dirigidos, acompañados de un nuevo "paquete tecnológico" (cambio de las condiciones de contorno), produjo una desestructuración del sistema: el conjunto de las relaciones internas se desorganizó, conduciendo a nuevas formas de relación que, durante un tiempo, se mantuvieron cambiantes. En un lapso del orden de una a dos décadas, el sistema volvió a estabilizarse con una estructura diferente, tanto productiva (producción predominante del sorgo, con desplazamiento del maíz hacia tierras marginales), como socioeconómica. Ambos cambios fueron acompañados de modificaciones profundas en la evolución del subsistema físico (principalmente la salinización del suelo).

6. LA INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA

El estudio de un sistema complejo está orientado por un marco conceptual y metodológico en donde se concede particular importancia

a las interacciones entre fenómenos que pertenecen a dominios diferentes (medio físico, agroproducción, estructura socioeconómica). Pero estudiar las interacciones entre los fenómenos que son objeto de análisis, implica que se generen interacciones en el interior del grupo de investigadores. Estas interacciones en el equipo encargado desarrollar la investigación comprende, a la vez, el quehacer interdisciplinario y la integración del trabajo de gabinete y de campo anterior no es, sin embargo, fácil de lograr.

Este enfoque difiere marcadamente de la práctica de investigación orientación mecanicista y neopositivista que se interesa únicamente por el descubrimiento de "hechos" que supuestamente están "das", así como de relaciones aislables y específicas entre fenómenos, y e se limita a recopilar los resultados obtenidos por grupos de especialistas que aportan respuestas parciales a problemas parciales. La vi, n sistémica aplicada a fenómenos complejos, por el contrario, sólo puede resultar de un trabajo que se plantee desde el inicio como una tarea interdisciplinaria.

El quehacer interdisciplinario está basado, tanto en la elaboración un marco conceptual común que permita la articulación de ciencias disímiles, como el desarrollo de una *práctica* convergente. Esta práctica no está carente de escollos. El esfuerzo realizado por los diferentes especialistas para tomar una cierta distancia con respecto a los problemas particulares de sus propios campos y entenderlos desde nuevos ángulos poco familiares, constituye la primera dificultad.

Por otra parte, la acción conjunta en el gabinete y en el campo, en busca de respuestas comunes a problemas que inicialmente pueden ser considerados distintos por sus orígenes sociales, físicos o biológicos, plantea nuevas situaciones metodológicas y conceptuales. Esto fuerza un proceso de invención y de experimentación continua, enfrentan problemas analíticos y también operativos, no siempre fáciles de resolver. La tensión permanente que se establece así entre la formación especializada y la tarea interdisciplinaria puede resultar altamente fructífera, pero también puede conducir a la eventualidad perturbadora de incurrir en vacuas generalidades. El avance del trabajo oscila frecuentemente

entre dos extremos peligrosos: la especialización absoluta y la generalidad excesiva. Sólo la integración activa *del* grupo de trabajo permite sortear estos riesgos. En ello hay implícito un gran esfuerzo por reconciliar en cada momento unidad y diversidad, especialidad y universalidad.

La "toma de distancia" que cada investigador debe realizar con respecto a los objetivos específicos de estudio de su disciplina particular, significa una apertura a métodos, conceptos y lenguajes poco familiares. Se trata, sobre todo, de una búsqueda constante, desde cada área de estudio, de los fenómenos específicos más poderosamente vinculados con las demás áreas, en la perspectiva de responder a incógnitas comunes que rebasan ampliamente los marcos de las disciplinas particulares, pero que, a su vez, son replanteados desde cada una de ellas.

El camino por el cual se llega a esas interrelaciones no es arbitrario y supone la puesta en acción de un proceso que constituye uno de los mecanismos básicos del desarrollo cognoscitivo: el proceso de *diferenciación* de una totalidad dada y de *integración* (o reintegración) de una totalidad conceptualmente más enriquecida. El doble proceso de diferenciación e integración constituye el procedimiento metodológico para realizar un estudio interdisciplinario de un sistema complejo. En efecto, en tanto los problemas de un *sistema natural* ignoran las frontera entre las disciplinas, sus elementos aparecen indiferenciado s dentro de una totalidad no bien definida. El estudio disciplinario comienza cuando se han identificado elementos del sistema que caen dentro del dominio de disciplinas particulares. Pero aquí cabe formular dos observaciones: *a)* cuando el problema disciplinario surge por *diferenciación* de una problemática general, lleva consigo una perspectiva diferente de aquella que hubiera tenido si se lo hubiera enfocado a partir de la disciplina en cuestión, y *b)* el proceso posterior de integración (de los resultados de la investigación disciplinaria sobre la problemática general) adquiere entonces una función enriquecedora, en la medida en que exige tomar en consideración las interrelaciones con los demás problemas disciplinarios que surgieron de la misma problemática.

La constitución de un equipo multidisciplinario para la realización una investigación interdisciplinaria supone, además, resolver, en un mínimo de tiempo, problemas metodológicos y conceptuales, logísticos y operativos, financieros e institucionales. Todo ello constituye muchas veces una problemática no menos difícil de superar que la resolución de los problemas que plantea la propia investigación.



CAPÍTULO II

Marco conceptual y metodológico para el estudio de sistemas complejos

La expresión "marco conceptual y metodológico" considerada como nombre y apellido de una única entidad, encierra, al mismo tiempo, una *posición epistemológica*, una *cierta concepción de "la realidad"* (que llamaría cosmovisión, si no fuera un término tan presuntuoso) y una *modalidad de investigación* que se deriva de ambas. Veamos sucintamente en qué consisten estos tres componentes.

1. EL COMPONENTE EPISTEMOLÓGICO

Reducido a sus términos mínimos, el problema epistemológico que nos preocupa en este contexto puede reducirse a dos preguntas: ¿qué conocemos?; ¿cómo conocemos? Históricamente, las respuestas pueden clasificarse (sin intentar aquí una precisión que estaría fuera de lugar) en dos grandes grupos. Por una parte, estarían diversas formas de idealismo, trascendentalismo, fenomenología, etc., a las cuales denominaremos genericamente "apriorismo". Frente a ellas están las diversas corrientes empiristas que consideran que la única fuente de conocimiento es la experiencia sensorial. Bertrand Russell dio la más breve y precisa definición del empirismo, haciendo referencia a la posibilidad de construir (o reconstruir) el conocimiento a partir de "proposiciones básicas" y definiendo una proposición básica como una proposición que surge con motivo de "una percepción que es la evidencia de su verdad".

Las grandes revoluciones científicas de comienzos del siglo XX -en particular las que sufrieron la física, dentro de las ciencias empíricas, y la lógica, dentro de las ciencias formales- exigieron la revisión de los conceptos fundamentales de la ciencia (de todas las disciplinas, no sólo de la física y de la lógica). Las implicaciones de dichas revoluciones se pueden reducir a dos conclusiones que desmoronaron siglos de

especulaciones filosóficas.

En primer término, dentro de las ciencias empíricas, la Teoría de la Relatividad y la Mecánica Cuántica mostraron que la fundamentación de las nociones de espacio, tiempo y causalidad, debía ser replanteada desde la ciencia, no sólo porque todas las concepciones apriorísticas quedaron sin fundamento, sino debido a la naturaleza de los problemas que estaban involucrados.

En segundo lugar, dentro de lo que se llamó la "lógica de la ciencia", los intentos de "reconstrucción racional del conocimiento" por vía empirista, llevados a cabo por los grandes lógicos empiristas del siglo -Carnap, Russell, Quine- utilizando los extraordinarios recursos de análisis de que disponía la lógica moderna, condujeron al fracaso. Rudolf Carnap, uno de los líderes del Círculo de Viena, fue el primero que intentó llevar a cabo, de manera rigurosa, el programa empirista de "deducir la ciencia a partir de datos sensoriales", utilizando el imponente arsenal de la naciente "lógica moderna". Los resultados se publicaron en el libro *La Construcción Lógica del Mundo* (1928). El propio Carnap declaró que el proyecto había fracasado. Sin embargo, el intento debe ser considerado como el más importante "experimento" realizado en el campo de la filosofía científica. Bertrand Russell tomó un camino diferente, investigando cuál sería el "vocabulario mínimo" necesario para construir la ciencia. Su resultado fue que tal vocabulario no podía prescindir de términos no reducibles a datos puramente empíricos (ver el último capítulo, "Los límites del empirismo", en su obra *El Conocimiento Humano; 1948).* El dictamen final fue pronunciado por Quine en el Congreso Internacional de Filosofía de Viena (1959): "Hemos dejado de soñar en construir la ciencia a partir de los datos de los sentidos". Declaración

dramática de quien fuera proclamado "el más grande de los positivistas". La ponencia de Quine en el Congreso de Viena fue incluida, n pequeñas modificaciones, en su obra *Ontological Relativity and Other Essays (1969).*

A partir de allí, caduca la concepción de la ciencia y de las teorías científicas como basadas exclusivamente en generalizaciones inductivas, como fue sostenida por los empiristas ingleses, reforzada a fin del siglo XIX por los alemanes (principalmente Mach) y culminando en la primera mitad del siglo XX con el Círculo de Viena (Carnap) y el de Berlín (Reichenbach). En la breve síntesis precedente no he incluido los nombres, hoy más citados, de Popper, Kuhn, Lakatos y otros, porque sus obras no modifican el *dictum* de Quine. En un sentido estricto, podemos afirmar e dichos autores no hacen análisis epistemológicos. Su filosofía de la ciencia se queda en el nivel de una sociología de la ciencia, importante pe-no suficiente para fundamentar una teoría del conocimiento.

De estas dos crisis epistemológicas -la crisis del apriorismo y la crisis del empirismo- surgen las posiciones constructivistas que llegan a su forma más acabada con la Epistemología Genética de Jean Piaget, uno los componentes que inspiran nuestro marco conceptual y metodológico, Jean Piaget ha sido reconocido por sus extraordinarios aportes a la psicología, particularmente en lo que concierne al desarrollo del conocimiento en el niño y el adolescente, pero su contribución a la teoría del conocimiento es mucho menos conocida. Se trata de la única teoría constructivista del conocimiento, de carácter científico, es decir, independizada de la filosofía especulativa, basada y validada empíricamente .

2. LA ESTRUCTURACIÓN DE "LA REALIDAD"

Este segundo elemento constitutivo de nuestro marco conceptual podría ser propiamente designado como *el componente ontológico*, en el sentido que da Quine a este término, evitando las connotaciones metafísicas

de las cuales está impregnado. La tesis de Quine sobre la ontología fue presentada en un artículo publicado en *Review of Metaphysics*, (1948), pero está desarrollada en varias de sus obras y, con mucho detalle, en la parte IV de *Methods of Logic (1950).*

Dentro de las ideas actuales sobre lo que denominamos "la concepción del Universo" o "la concepción de la realidad" vaya referirme solamente a dos puntos que son fundamentales para nuestro análisis.

2.1 EL UNIVERSO ESTRATIFICADO

Para fundamentar esta concepción tomaré como referencia una aserción hecha por Einstein a principios del siglo XX y en la cual creyó hasta su muerte: "El objetivo supremo de un físico es arribar a aquellas leyes elementales universales a partir de las cuales el cosmos puede ser construido por pura deducción". Hoy sabemos que esta utopía de Einstein es inalcanzable. La suposición que está allí implícita es que el Universo está constituido de tal manera que las mismas leyes, las mismas formas de organización, rigen en todos los dominios y en todas las escalas de fenómenos. La ciencia de décadas recientes ha debido renunciar a dicha uniformidad llegando a una concepción diferente del Universo, con dos características fundamentales: El mundo físico se presenta constituido por niveles de organización semi-autónomos y en cada nivel rigen dinámicas específicas de cada uno de ellos, pero que interactúan entre sí.

Los diferentes niveles están "desacoplados" en el sentido de que las teorías desarrolladas en cada uno de los niveles tienen suficiente estabilidad como para no ser invalidadas por descubrimientos o desarrollos en otros niveles. En un lúcido artículo del físico y filósofo de la ciencia S.S. Schweber, titulado *Physics, Community and the Crisis of Physical Theory* (1993), se da el siguiente ejemplo: "la física de altas energías y la física de materiales ha llegado a ser esencialmente desacoplada en el sentido de que la existencia de cualquier nueva partícula pesada es irrelevante para las preocupaciones de los físicos de materiales, por grande que sea el interés intelectual

que puedan tener en ella".

Esta organización por niveles, y esta forma de desacoplamiento, no es privativa de la Física, sino que es característica de los más diversos dominios. Los ejemplos clásicos se encuentran en Biología. El cuerpo humano está organizado en varios niveles: células, tejidos, órganos, "aparatos" (circulatorio, nervioso, digestivo).

2.2 EL UNIVERSO NO-LINEAL

En décadas recientes ha surgido una vasta literatura acerca de lo que se suele llamar, a mi juicio erróneamente, "las ciencias de la complejidad". Como es sabido, el desarrollo explosivo de esta literatura se debe, en gran medida, a la introducción de computadora s de gran capacidad, extraordinariamente rápidas, que permiten atacar problemas que estaban antes fuera del alcance de los métodos matemáticos. La variedad de problemas que fueron abordados, y la cantidad de resultados espectaculares obtenidos, han permitido extender enormemente la comprensión de los procesos no-lineales, pero ello ha llevado también, lamentablemente, a lo que me he permitido llamar "extrapolaciones matemáticas ilegítimas y falacias correlacionadas". Prevalece en la ciencia actual un cierto imperialismo de las computadoras que hace aparecer como no-científico todo estudio de procesos no "modelables" a través de un sistema de ecuaciones diferenciales no-lineales (o de otras modelizaciones más sofisticadas).

Hay sin embargo, una característica muy notable que ha emergido tanto a través del estudio de sistemas dinámicos como del análisis cualitativo de procesos no-lineales que son reducibles a modelos matemáticos. Progresivamente se ha puesto de manifiesto que fenómenos de muy diversa naturaleza, que pertenecen al dominio de diferentes disciplinas y que, desde el punto de vista de una descripción puramente fenomenológica, parecerían no tener nada en común, presentan una gran similitud en lo que respecta a su evolución temporal. Tales fenómenos integran totalidades (sistemas) cuyas transformaciones en el transcurso del tiempo responden a una ley muy general:

evolución no-lineal, con discontinuidades estructurales, que procede por sucesivas reorganizaciones.

El principio de estratificación y la no-linealidad de los procesos evolutivos tienen antecedentes históricos (aunque sin esos nombres y sin esa sistematización) en-disciplinas tan diversas como la Biología; la Economía Política de Marx, la Teoría Psicoanalítica de Freud y la Epistemología Genética de Piaget.

3. LAS IMPLICACIONES DE LA EPISTEMOLOGÍA PARA EL ENFOQUE METODOLÓGICO

En toda metodología está subyacente una cierta concepción del conocimiento, aunque rara vez se torna explícita y no siempre sea explicitable como una epistemología coherente. Es una experiencia frecuente, en proyectos de investigación de instituciones de diversos países, verificar una clara discrepancia entre el llamado "marco teórico" que precede como introducción al proyecto, declaradamente antiempirista, y la propuesta de trabajo en el proyecto mismo, muchas veces de un empirismo primitivo. A este respecto, resulta asombroso tener que insistir, en no pocas ocasiones, sobre la necesidad de diferenciar claramente entre "empirismo" y "ciencia empírica". Toda ciencia no puramente formal es empírica ... o no es ciencia. Y es empírica en el doble sentido de tener como objetivo el dar cuenta de hechos o fenómenos empíricos, y de someterse al *test* de la experiencia para justificar la validez de sus asertos. Pero esto no tiene que ver con el empirismo como posición epistemológica.

El marco conceptual y metodológico que estoy aquí presentando se basa explícitamente en una epistemología constructivista. El término "constructivismo" está aquí referido exclusivamente a la Epistemología Genética, denominación dada por Jean Piaget a su teoría del conocimiento desarrollada en la Escuela de Ginebra. Dicha teoría se basa en medio

siglo de estudios psicogenéticos sobre la construcción del conocimiento, complementados con análisis histórico-críticos del desarrollo de los conceptos y teorías científicas. En la obra *Psicogénesis e historia de la ciencia* (1982) hemos mostrado, con Piaget, que no obstante la enorme distancia que media entre las conceptualizaciones y estructuraciones en el desarrollo cognoscitivo del niño y del adolescente, y los conceptos y estructuraciones lógico-matemáticas de las teorías científicas, los *mecanismos* de construcción son comunes.

El constructivismo piagetiano pone el punto de partida del *proceso cognoscitivo en la acción.* La coordinación de las acciones del niño que interactúa con los objetos constituye el comienzo mismo de las inferencias que conducen a la construcción de la lógica natural. Este proceso está analizado en la obra *Hacia una lógica de significaciones* (1988), donde pusimos en evidencia el origen común de las inferencias lógicas y de las relaciones causales. El proceso continúa a través de sucesivos estadios de desarrollo de las estructuras elementales de la lógica, hasta culminar en la adolescencia con la estabilización de la lógica natural, desprendida ya de sus contenidos empíricos. Paralelamente se han ido construyendo las nociones básicas de espacio, tiempo y causalidad, en una elaboración muy compleja, demostrada en numerosos volúmenes de la monumental obra de Piaget. Una síntesis muy apretada la expuse en el capítulo II del volumen de homenaje al centenario de su nacimiento (1997).

La consecuencia primordial -y quizás la más importante del constructivismo para la metodología de la ciencia- está expresada en una de las conclusiones que extrajo Piaget en sus investigaciones psicogenéticas:
"No hay lectura pura de la experiencia". En esto han coincidido otros filósofos de la ciencia que han tomado distancia del empirismo desde posiciones distintas. "Todo observable está cargado de teoría", afirma Russell Hanson en un libro que ha tenido gran influencia (1965). Y Quine, de quien ya nos hemos ocupado, hace una declaración un tanto nostálgica en el mismo sentido: "La noción de observación como la fuente de evidencia objetiva e imparcial para la ciencia está en bancarrota."

Desde esta perspectiva epistemológica, está claro que, cuando una investigación se apoya en "hechos" observables (y

en general, ya observados), el investigador debe de tener en cuenta que un "observable" supone mucho más que un simple registro perceptivo. A su vez, un "hecho" -ya sea que se trate de una propiedad, de una acción o de un evento cualquiera- puede ser considerado como un observable a partir del momento en que es "interpretado", es decir, revestido de una significación relativa a un contexto más amplio. La interpretación hace al "hecho" solidario de un sistema de conceptos (y "preconceptos") que corresponden a la experiencia previa del investigador y a su propia "ideología" (considerando este último término, no en el acostumbrado sentido político, sino como concepción del mundo, *véase* capítulo 9, en Piaget y García, 1982).

No sólo las nociones de "observación" y de "hechos", en su versión empirista ingenua, cayeron en la bancarrota. También se cuestionó el concepto de "explicación".

La filosofía del siglo XX ha considerado como definitiva la crítica de Hume al principio de inducción, así como la conclusión que de allí se deriva, negando carácter de necesidad a las relaciones causales, con 10 cual la explicación científica quedaba reducida a la simple descripción. El constructivismo adhiere a esta posición, y también al comentario que hace Bertrand Russell, en su *Historia de la Filosofía Occidental* (1947), cuando afirma: "En ese sentido Hume ha demostrado que el empirismo puro no es base suficiente para la ciencia".

Pero el constructivismo no se queda en el escepticismo y realiza un avance considerable al distinguir claramente entre *relaciones causales* y *explicaciones causales*. Las primeras resultan de generalizaciones inductivas y son pasibles de la crítica de Hume, por 10 cual no tienen carácter explicativo. Esto no implica negarles la gran utilidad que presentan a la investigación en un doble sentido. Por una parte, permiten, frente a regularidades observadas, asignar probabilidades a la ocurrencia de ciertos fenómenos; por otra parte, pueden poner de manifiesto el tipo de relaciones de las cuales debería dar cuenta una teoría explicativa.

No puedo entrar aquí a desarrollar la concepción piagetiana de las explicaciones causales. Basta con señalar que, en dicha concepción, *explicar*

que A es causa de B, significa que hay una teoría dentro de la cual se pueden formular las dos situaciones A y B (llamemos *N* y B' ambas representaciones) de tal manera que B' es *deducible* de *N*.

La necesidad de la relación lógica *en la teoría es atribuida* a la relación entre A y B. En otros términos, en una explicación causal la relación entre las situaciones empíricas es inferida a partir de la relación lógica dentro de la teoría. *(Véase* Piaget y García, 1971).

4. IMPLICACIONES METODOLÓGICAS DE LA ESTRUCTURACIÓN DE LA REALIDAD

El sociólogo francés Lucien Goldmann, autor de esa magnífica obra titulada *Le Dieu Caché* (1955) afirmaba que "el problema del método en Ciencias Sociales consiste en hacer recortes de los datos empíricos en totalidades relativas suficientemente autónomas como para servir de marco a un trabajo científico". A esos recortes hoy los denominamos *sistemas* y los definimos más precisamente como la *representación* de un conjunto de situaciones, fenómenos, procesos, que pueden ser modelizados como una totalidad organizada, con una forma de funcionamiento característica.
Este concepto general cubre dos categorías:

a) Sistemas descomponibles

Sus partes pueden ser aisladas y modificadas independientemente unas de otras. Un ejemplo característico es una casa, en la cual se puede modificar su sistema eléctrico, sus ventanas, sus pisos, etc. sin que se modifiquen otros elementos.

b) Sistemas no descomponibles

En ellos, los procesos que determinan su funcionamiento son interdefinibles y múltiples, en tanto resultan de la confluencia de diversos factores que interactúan de manera tal que no pueden ser aislados: A los sistemas de esta categoría los hemos denominado *sistemas complejos.*

La clasificación de los sistemas en "descomponibles" y "no descomponibles" fue introducida por el Premio Nobel de Economía, Herbert Simon (1977). Simon hace esa distinción con referencia a sus estudios sobre "la complejidad". Sin embargo, el concepto de *sistema complejo* que he desarrollado difiere considerablemente del presentado por Simon. Este autor da como ejemplo característico de complejidad el caso de un organismo biológico tal como lo mencioné más arriba, y toma como símil un conjunto de "cajas chinas". Por otra parte, él llama "subsistema" a cada uno de los niveles.

En la sección titulada "la estructuración de la realidad" he señalado dos principios que son característicos de los sistemas complejos: una disposición de sus elementos por niveles de organización con dinámicas propias, pero interactuantes entre sí; y una evolución que no procede por desarrollos continuos sino por reorganizaciones sucesivas. De estos dos principios surgen pautas específicas para el ordenamiento metodológico de la investigación.

La distinción de niveles con dinámicas características requiere comenzar por un análisis de tipo cualitativo que excluye la práctica corriente de empezar por poner juntas "todas" las variables y entrecruzarlas. Cuando a los datos provenientes de un nivel dado, se agregan los datos provenientes de otro nivel, no se está agregando información, se está introduciendo "ruido". En este punto suele haber confusión. Está claro que el análisis cualitativo incluye toda la información cuantitativa de que pueda disponerse. Esto no contradice la observación precedente, que se refiere a la forma de organizar la información, una tarea en la cual la computadora presta una ayuda muy valiosa, pero que no puede dejarse exclusivamente a su cargo.

El aspecto más delicado del análisis de los niveles de organización es el estudio de las interacciones entre los niveles, un tema sobre el cual volveremos más adelante.

La evolución por reorganizaciones sucesivas constituye un principio orientador de una fase sumamente importante en la investigación de los sistemas complejos, en la cual deben considerarse dos aspectos complementarios: por una parte, la historia de las estructuraciones; pero, además, el tipo de transformaciones y su relación con las propiedades sistémicas.

El análisis de las reorganizaciones impone, desde el comienzo, la consideración de los procesos que han conducido a configurar el estado de un sistema en un momento dado. Aquí entra también la epistemología constructivista, en la cual se reconoce ese principio como fundamental para explicar el desarrollo del conocimiento. Piaget sintetizó el problema en la fórmula que hizo historia durante la polémica sobre el estructuralismo en los años 1960, particularmente en Francia: "no hay estructura sin historia, ni historia sin estructura". La consecuencia práctica de este *dictum* es que la comprensión cabal del funcionamiento de un sistema complejo requiere un análisis de la historia de los procesos que condujeron al tipo de organización (estructura) que presenta en un momento dado.

Así, la calendarización es también un punto de convergencia de las consideraciones metodológicas precedentes, que sirven de base a las definiciones e hipótesis de trabajo. En efecto, la posibilidad misma de utilizar el reconocimiento de etapas "macro" que puedan servir de ordenamiento al análisis del "estudio de caso", se asienta sobre un conjunto de suposiciones muy fuertes tales como:

- el conjunto de actividades involucradas en el desarrollo de un sistema determinado, el sistema productivo, por ejemplo, se comporta como constituyendo un sistema semiautónomo que evoluciona por sucesivas reorganizaciones.

- esas reorganizaciones ocurren en concomitancia con los grandes procesos económicos, sociales y políticos del país, por un juego de interacciones que finalmente configuran las *condiciones de contorno* de tal sistema.

La confirmación de estas suposiciones dan validez al marco metodológico adoptado.

El análisis de las transformaciones -segundo aspecto de la evolución de un sistema complejo- requiere alguna observación preliminar. La definición del sistema a partir de un "recorte" de los datos empíricos (que se traduce en un "recorte de la realidad", según la definición precedente), lleva implícita la suposición de que no se trata de una entidad aislada, sino que ha sido conceptualmente separada del resto, de acuerdo con ciertos criterios. Esto significa que no es posible estudiar un sistema así definido, sin tomar en cuenta sus interacciones con lo que hemos dejado "fuera del recorte". Este es uno de los problemas fundamentales de la investigación y que presenta mayores dificultades. La razón de su importancia reside en que, en el proceso de la evolución dentro de lo que hemos llamado "el universo no-lineal", las transformaciones que sufre un sistema y, en particular, los cambios estructurales, están fuertemente condicionados por dichas interacciones.

Para facilitar el análisis, en otros trabajos he utilizado el concepto de *flujos,* representando las interacciones como "entradas" y "salidas", no necesariamente materiales. A este *conjunto de flujos* que corresponden a las interacciones de un sistema con el "exterior", lo hemos denominado *condiciones de contorno.*

El problema de las interacciones hay que analizado, en primer lugar, desde el sistema como una totalidad cuya organización interna está permanentemente perturbada por los flujos de entrada y salida. Debe recordarse aquí que el sistema *está definido por un recorte de los datos empíricos,* de modo que "entrada" y "salida" no tiene una significación exclusivamente geográfica. Cuando los flujos se estabilizan, el sistema adquiere una organización (estructura) también estable. Estabilización significa que las alteraciones oscilan dentro de un intervalo que no excede un cierto umbral, el cual depende tanto de la magnitud de las perturbaciones, como de las características internas, es decir de las propiedades que tiene el sistema como

totalidad organizada.
Entre las propiedades sistémicas la *resiliencia* corresponde a la capacidad que tiene el sistema de adaptarse (podríamos decir “absorber”) a las perturbaciones de una cierta magnitud, es decir, que no exceden el umbral característico del sistema en cada momento. Cuando ese umbral es excedido, el sistema se desestabiliza (lo cual se expresa diciendo que el sistema es *vulnerable* a dichas perturbaciones).

El cambio de flujos se debe, en general, a eventos que ocurren en otros niveles de organización. La desestabilización puede comenzar en cualquier punto del sistema y conduce a su desorganización. A partir de allí, si los flujos se estabilizan nuevamente, el sistema adquiere una nueva estructura por compensaciones internas. En eso consiste, en última instancia, lo que hemos llamado *evolución por sucesivas reorganizaciones.*

5. IMPLICACIONES DEL MARCO METODOLÓGICO PARA LA ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Retornemos la cita de Lucien Goldmann. Tomar un recorte de los datos empíricos correspondientes a una totalidad semiautónoma, como punto de partida meto do lógico para una investigación en ciencias sociales, se fundamenta en la epistemología constructivista a la cual adhirió Goldmann.

De esta posición se desprenden varias consecuencias, de las cuales consideramos solamente dos que son importantes para nuestro propósito.

5.1 LA DIALÉCTICA DE LA "DIFERENCIACIÓN" Y LA "INTEGRACIÓN" EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO

En el momento inicial, las totalidades son definidas con cierto grado (a veces muy alto) de imprecisión y, por un proceso

de análisis, se van diferenciando elementos que las integran (también con cierta imprecisión). El estudio de estos elementos permite caracterizados mejor, con lo cual se reconstruye una totalidad mejor determinada. El proceso comienza y prosigue en sucesivas etapas en cada una de las cuales se realizan ajustes que pueden consistir en incorporar factores omitidos o eliminar factores que aparecen como innecesarios o secundarios. La dialéctica de las diferenciaciones e integraciones constituye la base de la construcción del conocimiento.

5.2 MODELIZACIÓN Y EXPLICACIÓN CIENTÍFICA

El proceso de construcción, que he resumido, pone de manifiesto que la investigación procede por modelizaciones sucesivas. La expresión "sistema complejo" es ambigua en más de un sentido. En primer lugar, no se refiere a alguna entidad que esté dada en la realidad y a la cual simplemente describimos luego de una inspección minuciosa. Se trata, por el contrario, de un modelo teórico construido con datos empíricos. La investigación consiste en la propuesta de sucesivas modelizaciones hasta llegar a un modelo aceptable, entendiendo por tal un modelo que permite formular *explicaciones causales* de los fenómenos que son objeto de estudio (en el sentido que hemos explicitado más arriba). El conjunto de las relaciones allí involucradas constituye la *explicación del funcionamiento del sistema.*

Esta última expresión condensa varias ambigüedades. En tanto un modelo teórico sólo contiene relaciones formales, el término "funcionamiento" no le es aplicable. *Funcionamiento* es el conjunto de actividades de un sistema "real". Pero esta palabra exige una aclaración.

El constructivismo puede definirse como un realismo epistemológico. Supone un mundo exterior a los individuos, con el cual éstos interactúan. A ese mundo sólo tenemos acceso a través del conocimiento, que en última instancia consiste en la organización de aquellas interacciones. Tales organizaciones

conducen finalmente a las teorías científicas.

Hay una *ontología* (en el sentido de Quineya mencionado) implícita en la organización de los datos de la experiencia. Pero hay que hacer una distinción que no hace Quine (quien no adhiere al constructivismo). En tanto -como hemos ya señalado- la construcción del conocimiento procede por reorganizaciones, es necesario tomar en cuenta, en cada *nivel de análisis*, el *nivel de organización* que estamos considerando. En un nivel de análisis determinado, el material empírico, dado en dicho nivel, proviene de conceptualizaciones e inferencia s realizadas (construidas) en niveles anteriores. Las teorizaciones que realizamos en el nuevo nivel corresponden a nuevas interpretaciones, nuevas relaciones y nuevas conceptualizaciones de objetos. Podemos por consiguiente, afirmar que, tanto los objetos como las relaciones que se manejan en un nivel dado, son inferidos (o fueron inferidos en niveles anteriores). Con esos objetos y relaciones inferidas construimos nuestros modelos y teorías. Cuando nos referimos a un sistema como algo que "existe en la realidad" estamos aludiendo a la contraparte que hipotetizamos en el "mundo exterior" como correspondiendo a nuestro modelo.



CAPÍTULO III

Interdisciplinariedad y sistemas complejos

Las situaciones a las cuales se suele aplicar la expresión "problemas ambientales", tales como las condiciones insalubres de vida en grandes centros urbanos, o el deterioro del medio físico y de las condiciones de vida en extensas regiones, no pueden ser estudiadas por simple adición de investigaciones disciplinarias. Se trata de problemáticas complejas donde están involucrados el medio físico-biológico, la producción, la tecnología, la organización social, la economía. Tales situaciones se caracterizan por la confluencia de múltiples procesos cuyas interrelaciones constituyen la estructura de un sistema que funciona como una totalidad organizada, a la cual hemos denominado *sistema complejo.*

La "complejidad" de un sistema no está solamente determinada por la heterogeneidad de los elementos (o subsistemas) que lo compone, y cuya naturaleza los sitúa normalmente dentro del dominio de diversas ramas de la ciencia y la tecnología. Además de la heterogeneidad, la característica determinante de un sistema complejo es la *interdefinibilidad* y mutua dependencia de las *funciones* que cumplen dichos elementos dentro del sistema total. Esta característica excluye la posibilidad de obtener un análisis de un sistema complejo por la simple adición de estudios sectoriales correspondientes a cada uno de los elementos.

La no-aditividad de los estudios sectoriales se torna aún más evidente cuando se tratan de evaluar las implicaciones de la introducción de modificaciones en un sistema, o de proponer, por ejemplo, políticas alternativas para el desarrollo sustentable de una determinada región. En efecto, un principio básico de la teoría de sistemas complejos afirma que toda alteración en un sector se propaga de diversas maneras a través del conjunto de relaciones que definen la estructura del sistema y que, en situaciones críticas, genera una reorganización total. Las nuevas

relaciones -y la nueva estructura que de allí emerge- implican, tanto modificaciones de los elementos, como del funcionamiento del sistema total. El juego dialéctico involucrado en la doble direccionalidad de los procesos que van de la modificación de los elementos a los cambios del funcionamiento de la totalidad, y de los cambios de funcionamiento a la reorganización de los elementos, constituye uno de los problemas que ofrece mayor dificultad en el estudio de la dinámica de los sistemas complejos. Estas interacciones entre la totalidad y las partes no pueden ser analizadas fraccionando el sistema en un conjunto de áreas parciales que correspondan al dominio disciplinario de cada uno de los elementos. Y es allí donde se sitúa la diferencia entre *multi* o *pluridisciplina* e *interdisciplina*.

Del planteo precedente surge una redefinición de la interdisciplinariedad en este trabajo. No definiremos "interdisciplina" *in-abstracto*, para luego aplicada a ese objeto de estudio particular que es un sistema complejo. Por el contrario, definimos primero el objeto de estudio y luego nos planteamos la manera de estudiado. Llamaremos entonces *investigación interdisciplinaria al tipo de estudio que requiere un sistema complejo.*

Este cambio del "punto de partida" tiene implicaciones importantes: las características de los sistemas complejos no sólo establecen la necesidad de estudiados con una metodología adecuada, de carácter interdisciplinario, sino que determinan, en buena medida, cuáles son las condiciones que debe reunir dicha metodología. En este contexto, metodología "adecuada" significa que debe servir como instrumento de análisis de los procesos que tienen lugar en un sistema complejo y que explican su comportamiento y evolución como *totalidad organizada.*

Algunas reflexiones adicionales sobre los alcances y limitaciones de nuestra propuesta pueden ser necesarias (aunque parezcan obvias) para disipar frecuentes incomprensiones:

- No toda investigación es interdisciplinaria. Un químico que está estudiando la composición de una substancia

puede tener que recurrir a conocimientos y técnicas provenientes de varias disciplinas. Sin embargo, la *utilización* de esos conocimientos multi-disciplinarios no significa que su trabajo sea *inter-disci*plinario.

- La palabra "complejo", asociada a "sistema", como nombre y apellido de una única entidad, tiene un significado que difiere de aquél que podemos asignarle en expresiones como "substancia compleja", u otras de una gran variedad. Ser "complicado" o estar "compuesto de elementos heterogéneos" no determinan el concepto de complejidad que interviene en la definición de *sistema complejo.*

- Cuando afirmamos que la investigación interdisciplinaria es el tipo de estudio requerido por un sistema complejo, esto no excluye, en modo alguno, estudios parciales de alguno de sus elementos o de alguna de sus funciones. Ningún análisis de tales sistemas puede prescindir de estudios especializados. Sin embargo, tan ricos y necesarios como pueden llegar a ser dichos estudios, la simple suma de ellos rara vez podría, por sí sola, conducir a una interpretación de los procesos que determinan el funcionamiento del sistema como tal, es decir, como totalidad organizada.

- Un estudio *integrado* de un sistema complejo, donde esté en juego el funcionamiento de la totalidad del sistema, sólo puede ser obra de un equipo con marcos epistémicos, conceptuales y metodológicos compartidos. Esta aserción es un principio básico de la metodología de investigación interdisciplinaria.

- Los equipos de investigación no son interdisciplinarios, son multidisciplinarios. Lo que es interdisciplinaria es la metodología que implica el estudio de un sistema complejo.

Los estudios sobre problemas ambientales han puesto de manifiesto, de manera reiterada, la insuficiencia de las metodologías tradicionales (o, más exactamente, de lo que tradicionalmente se entiende por metodología). De allí a elaborar propuestas concretas que constituyan verdaderas alternativas para realizar dichos estudios, y que reúnan, además, la indispensable condición de ser operativas, es decir, poder traducirse en procedimientos más o menos precisos que orienten las investigaciones, hay un largo camino erizado de dificultades. Como ocurre en todos los campos, es más fácil ponerse de acuerdo sobre lo que debemos abandonar y superar en las viejas prácticas de investigación, que concordar en una propuesta que logre superadas.

Se considera, sin duda por consenso, que para abordar los problemas ambientales es necesario lograr una verdadera *articulación* de las diversas disciplinas involucradas, a fin de obtener un estudio "integrado" de esa compleja problemática. Sin embargo, el acuerdo sobre la necesidad de realizar un estudio integrado del medio ambiente puede ser sólo superficial si no se aclara sobre qué bases conceptuales y metodológicas se puede orientar una investigación que llegue a ese objetivo, y en qué consiste una investigación interdisciplinaria para logrado.

Por otra parte, la consideración de marcos conceptuales y de metodologías adecuadas para abordar el estudio de problemas ambientales, en toda su complejidad, no pasaría de ser un ejercicio puramente académico, de alcances limitados, si no se planteara su necesaria proyección hacia la formación de investigadores. Las instituciones de enseñanza superior, todavía con resabios indelebles de las estructuras universitarias surgidas en el medioevo, presentan a los estudiantes, con raras excepciones, un saber fragmentario y una práctica anacrónica de la ciencia y de la tecnología. Las deficiencias de esta formación básica de los egresados constituyen el más serio obstáculo para integrar los equipos de investigadores que requiere el estudio de los problemas arriba enunciados. No se trata de "aprender más cosas", sino de "pensar de otra manera" los problemas que se presentan en la investigación, es decir, de reformular la concepción de la práctica de la ciencia. Desde esta perspectiva,

expondremos algunas reflexiones y sugeriremos acciones concretas que contribuyan a estimular un cambio en la concepción de la investigación interdisciplinaria y en la formación de investigadores capaces de realizada. Aunque la mayor parte de los estudios concretos que evocaremos tomaron como objeto de estudio la problemática ambiental, nuestra propuesta tiene mayores alcances por cuanto atañe a una amplia gama de problemas sobre los cuales hay creciente conciencia de que requieren ser estudiados con un enfoque sistémico.

1. INTERDISCIPLINARIEDAD Y ESPECIALIZACIÓN DISCIPLINARIA

La realización de estudios interdisciplinarios constituye una preocupación dominante en muchas universidades e institutos de investigación. La búsqueda de formas de organización que hagan posible el trabajo interdisciplinario surge, sin duda, como reacción contra la excesiva especialización que prevalece en el desarrollo de la ciencia contemporánea, pero no consideramos que sea ése un punto de partida adecuado. Tal especialización -se arguye- conduce a una fragmentación de los problemas de la realidad. Al aumentar progresivamente dicha fragmentación -continúa el argumento-, no sólo se parcializa el estudio hasta perder contacto con el problema original, sino que el propio investigador adquiere una perspectiva de los problemas que torna imposible realizar el trabajo de síntesis necesario para interpretar una realidad compleja. El ejemplo más evocado es la ultraespecialización en medicina, que ha conducido a estudiar manifestaciones aisladas, en un órgano particular, de fenómenos que afectan a un organismo que, sin embargo, reacciona como una totalidad. El "médico general", el "clínico" con una visión integrada del funcionamiento del organismo humano -se ha repetido con alarma una y otra vez-, es una "especie" que tiende a desaparecer.

El problema del razonamiento anterior es que, ni la condena a la "especialización excesiva" conduce, por oposición, a la interdisciplina, ni es posible prescindir de los especialistas en la investigación interdisciplinaria. Se trata de un problema mal

formulado porque no toda investigación es, o puede ser, interdisciplinaria.

Otra forma de abordar la interdisciplina, que también se basa en la idea de que el enemigo es el "especialismo", ha consistido en un intento de formar "generalistas". Se supone que el genera lista tiene una cultura muy amplia, sin ser estrictamente especialista en ninguna disciplina. Se piensa que está, por consiguiente, especialmente dotado para abordar problemas complejos y efectuar síntesis superadoras del especialismo estrecho. Este enfoque de la interdisciplinariedad presenta serias dificultades que es necesario señalar.

En primer término surge el problema de cómo formar tales generalistas. No son raras las veces en que se somete al alumno a "cursos interdisciplinarios" que consisten simplemente en un conjunto de temas "puestos juntos", cada uno de los cuales es desarrollado por un ... ¡especialista! En tales casos se deja al alumno la tarea más difícil: efectuar por sí mismo la síntesis integradora.

Pero hay una objeción más de fondo que puede formularse a la formación de generalistas: difícilmente surgen de allí buenos investigadores. Porque no hay otro camino para llegar a ser investigador que comenzar a formarse aprendiendo a explorar en profundidad -junto a investigador ya formado- algún problema específico o parte de tal problema.

Finalmente, la vía alternativa que suele proponerse para abordar el problema de la interdisciplinariedad, es la formación de equipos pluri-disciplinarios.

Dado que -se afirma- nadie puede abarcar el amplio espectro de conocimientos que requieren estudios interdisciplinarios, la única forma – de abordar tales estudios es a través de grupos de trabajo integrados por representantes de diversas disciplinas. La interdisciplinariedad -se insiste- sólo se da en un equipo, y un trabajo interdisciplinario es siempre el resultado de un equipo pluridisciplinario. Esta formulación es correcta: equipo de trabajo no es interdisciplinario, lo que es interdisciplinario es una metodología particular de investigación que requiere la conformación de equipos multidisciplinarios. Pero a poco que se analice en detalle la afirmación anterior, se advierte que es insuficiente. Un conjunto de especialistas puede ser denominado multidisciplinario o pluridisciplinario, pero no por el mero

hecho de estar juntos se torna interdisciplinario. La yuxtaposición de especialistas (multi- o pluri-) no produce la interdisciplinariedad, que es, insisto, una consecuencia metodológica de concebir ciertas problemáticas desde una perspectiva en particular: la de los sistemas complejos, La experiencia histórica es, en ese sentido, concluyente. Con muy raras excepciones, los grupos multidisciplinarios han producido algo más que conjuntos de trabajos ... especializados. El hecho de que alguien escriba luego un prólogo que procura descubrir "conexiones" entre ellos, y que se los publique en un mismo volumen con una tapa común, no los convierte en estudios interdisciplinarios.

Así, no negamos que la investigación interdisciplinaria requiere de un equipo de trabajo constituido por especialistas de diverso origen. Esta es una condición necesaria, pero está lejos de ser una condición suficiente. La interdisciplinariedad, en tanto metodología de investigación, no emerge espontáneamente por el hecho de que varios especialistas trabajen juntos.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO DE UN SISTEMA COMPLEJO

La metodología de trabajo interdisciplinario que supone la investigación de sistemas complejos responde a la necesidad de lograr una síntesis integradora de los elementos de análisis provenientes de tres fuentes:

1) *El objeto de estudio*, es decir, el sistema complejo (por ejemplo, un "sistema ambiental") fuente de una problemática no reducible a la simple yuxtaposición de situaciones o fenómenos que pertenezcan al dominio exclusivo de una disciplina.

2) *El marco conceptual* desde el cual se aborda el objeto de estudio; es decir, el bagaje teórico desde cuya perspectiva los investigadores identifican, seleccionan y

organizan los datos de la realidad que se proponen estudiar.

3) *Los estudios disciplinarios* que corresponden a aquellos aspectos o "recortes" de esa realidad compleja, visualizados desde una disciplina específica.

El objetivo es llegar a una *formulación sistémica* de la problemática original que presenta el objeto de estudio. A partir de allí, será posible lograr un *diagnóstico integrado,* que provea las bases para proponer acciones concretas y políticas generales alternativas que permitan influir sobre la evolución del sistema.

Los sistemas, en tanto totalidades organizadas, tienen dos características fundamentales:

- Las *propiedades* del sistema, en un momento dado, no resultan de la simple adición de las propiedades de los componentes. La vulnerabilidad o resiliencia, así como las condiciones de estabilidad, son propiedades estructurales del sistema en su conjunto.

- La *evolución* del sistema responde a una dinámica que difiere de las dinámicas propias de sus componentes. Así, por ejemplo, el sistema total integra, en su evolución, procesos de escalas temporales que varían considerablemente entre los subsistemas, e induce cambios en estos últimos.

Está claro que, aun cuando hablemos de esos sistemas como "totalidades", ello no indica que tengan límites precisos, puesto que están inmersos en una variedad de contextos que se van insertando en dominios cada vez más amplios. Este problema ha sido planteado con mucha fuerza desde el materialismo dialéctico y posiciones afines. La llamada "categoría de totalidad" ocupa un lugar central en la teoría marxista, pero su utilización por los seguidores de Marx ha introducido frecuentemente no poca confusión.

Debe hacerse notar, empero, que aunque Marx hizo amplio uso este concepto, no llegó a teorizar sobre él. No hay, dentro

del materialismo dialéctico, una "teoría de la totalidad" que explique satisfactoriamente la relación entre la totalidad y las partes, y que pueda servir como instrumento de análisis para interpretar la evolución de dichas totalidades.

Con frecuencia se utiliza abusivamente el concepto de totalidad, sin un análisis profundo de sus implicaciones para la práctica concreta de la investigación. Suele afirmarse, por ejemplo, que si se recorta la realidad para estudiar un fragmento de ella, se están desnaturalizando los problemas. Se aduce como razón que, al proceder así, se están dejando de lado, irremisiblemente, las interacciones de ese fragmento de la realidad con la totalidad dentro de la cual está inmerso. Dichas interacciones -continúa el argumento- son indispensables para comprender la naturaleza (a veces se dice "la esencia") del objeto de estudio. Esto conduce a un callejón sin salida.

Porque en el universo todo interactúa con todo y, si se toma al pie de la letra la propuesta "interaccionista" así formulada, no sería válido ningún estudio que incluyera menos de la totalidad del universo. Es obvio que ninguna teoría del conocimiento puede servir de base a tal posición. Todo conocimiento supone abstraer algunos elementos de la realidad. El problema no reside en que se fragmente la realidad, sino en la manera de hacerlo.

Las consideraciones precedentes conducen a dos pregunta básicas que deberán orientar la elaboración de un marco conceptual y metodológico para el estudio de un sistema complejo:

1) Puesto que todo estudio supone necesariamente un recorte de la realidad, ¿es posible realizar el recorte en forma tal que no desnaturalice el fragmento de la realidad que se haya abstraído del resto? Más aún: ¿es posible tomar en cuenta las interacciones que relacionan a dicho fragmento con la totalidad en la cual está inmerso sin que ello exija ampliar ad-infinitum los límites del estudio?

2) ¿Pueden formularse bases conceptuales suficientemente generales como para servir de marco a programas de investigación interdisciplinaria, es decir, que hagan posible un estudio que rebase los límites de disciplinas

específicas, permitiendo un conocimiento integrado de problemas complejos de la realidad?

La primera pregunta tiene hoy su respuesta en una "teoría general de sistemas", esbozada ya por Bertalanffy (1968) a mediados del siglo XX, pero que ha logrado importantes desarrollos en las últimas décadas, en particular con los aportes de la escuela de Bruselas de Ilya Prigogine. En forma paralela, aunque con raíces más antiguas Jean Piaget y su escuela ginebrina desarrollaron una epistemología constructivista que plantea una evolución del sistema cognoscitivo, tanto a nivel individual como en la historia de la ciencia, con notables puntos de coincidencia con la escuela de Bruselas. Sobre esas bases hemos propuesto un tipo de análisis sistémico alejado de los modelos econométricos y de la ingeniería de sistemas, que permite reformular la manera en que se plantea la necesidad de estudiar "totalidades", superando el aparente escollo de la inevitabilidad de los "recortes" de la realidad para poder analizarlas.

La segunda pregunta concierne a la metodología de la investigación interdisciplinaria de esas totalidades. Ya hemos señalado que ella no se logra por el hecho de "poner juntos" a los especialistas d diversas disciplinas y pidiéndoles que articulen sus resultados. La interdisciplinariedad comienza desde la formulación misma de los problemas (antes de los estudios disciplinarios), se prolonga en un largo proceso (que no es lineal, que pasa por diversas fases, cada una con sus propias "reglas de juego") y acompaña a los propios estudios disciplinarios hasta el término mismo de la investigación. Esta forma de abordar el objeto de estudio plantea una problemática que no es sólo metodológica, sino fundamentalmente epistemológica.

3. CONCEPTUALIZACIONES Y METODOLOGÍAS EN EL ESTUDIO DE SISTEMAS COMPLEJOS

El primer objetivo en el estudio de un sistema complejo es establecer diagnóstico. Aquí, como en un diagnóstico médico, es necesario analizar la anatomía y la fisiología de cada uno de los componentes (órganos o subsistemas), así como su armonización o desarmonía en el comportamiento general del individuo (sistema).

El segundo objetivo -y, en realidad, la principal motivación de los estudios- es poder actuar sobre el sistema: detener la enfermedad, y en lo posible, curar al paciente, en el caso de la medicina; detener y, en lo posible, revertir los procesos deteriorantes, en el caso de los estudios ambientales. Los criterios y prioridades aplicables en esta etapa no surgen sólo del interior de la ciencia: están basados en sistemas de valores cuya justificación proviene de una ética social.

3.1 EL DIAGNÓSTICO

Los sistemas complejos se comportan como "totalidades" compuestas de subsistemas. Llamaremos *funcionamiento* del sistema al conjunto de actividades del sistema como un todo, y *función* a la contribución de cada elemento o subsistema al funcionamiento del sistema. Debe notarse, sin embargo, que ambas expresiones son relativas: lo que llamamos "sistema total", en un contexto dado del análisis, es también un subsistema de sistemas más amplios, dentro de los cuales puede desempeñar una o más funciones.

La decisión de emprender el estudio de un cierto sistema ambiental proviene, en general, del reconocimiento de situaciones o fenómenos que tienen lugar en esa localización geográfica y que han generado (o están generados) por procesos de deterioro en el medio físico y en el medio social. Estas situaciones, fenómenos, procesos, constituyen la "realidad" que es objeto de estudio.

Cuando un investigador o un equipo de investigadores enfrenta la necesidad de llevar a cabo ese estudio, en ningún caso se ve en presencia de un "sistema" *ya dado* que no hay más que observar y analizar. Una parte fundamental del esfuerzo de

investigación es la "construcción" (conceptualización) del sistema como recorte más o menos arbitrario de una realidad que no se presenta con límites ni definiciones precisas.

Esta "construcción" del sistema no es otra cosa que la construcción de sucesivos modelos que representen la realidad que se quiere estudiar. Es un proceso laborioso de aproximaciones sucesivas. El *test* de haber arribado a una meta satisfactoria en la definición del sistema (como "modelo" de la realidad que se está estudiando) sólo puede basarse en su capacidad de explicar un funcionamiento que dé cuenta de los hechos observados.

Para ello no es suficiente tener un modelo que represente una clara descripción del sistema en el momento o periodo que se estudia. Los estudios históricos son una herramienta indispensable en el análisis sistémico. No se trata de reconstruir la historia total de la región que se estudia, sino de reconstruir la evolución de los principales procesos que determinan el funcionamiento del sistema. La relación entre *función* y *estructura* (o entre *procesos* y *estados)* es la clave para la comprensión de los fenómenos.

Ningún proyecto de investigación comienza de cero. En general, se los dispone de suficiente conocimiento de los fenómenos o situaciones que definen, en primera aproximación, la problemática a estudiar, y que permiten formular preguntas generales que constituyan el punto de partida de la investigación. A partir de allí, comienza el proceso que conducirá a la definición del sistema, objeto de estudio.

Dado que un sistema no es simplemente un conjunto de elementos sino que, en tanto sistema, está caracterizado por su estructura un sistema estará definido solamente cuando se haya identificado un número suficiente de relaciones entre cierto conjunto de elemento que permitan vinculados con referencia al funcionamiento del conjunto como totalidad. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que con los mismos elementos pueden definir se sistemas diferentes, es decir, sistemas cuyas estructuras difieren en tanto se hayan tomado en consideración distintos conjuntos de relaciones entre los elementos.

La selección dependerá de los objetivos de la investigación y estará determinada por las preguntas específicas que se hayan formulado con respecto al tipo de situaciones que

se desea estudiar.

Por otra parte, los fenómenos que caracterizan dichas situaciones pueden corresponder a escalas o niveles diferentes. Es importante señalar, a este respecto, que las "interacciones" entre elementos o subsistemas no son análogas, en modo alguno, al principio de "acción y reacción" en Física. La acción de un cultivo sobre el medio físico, y la 'reacción" de éste último sobre el primero corresponden, en general, a escalas temporales que pueden llegar a diferir en órdenes de magnitud.

La hipótesis de trabajo con la cual se inicia una investigación sistémica puede resumirse en la suposición siguiente: dado un conjunto de preguntas referentes a situaciones complejas del sector de la realidad que es objeto de estudio, puede definirse un sistema, en términos de ciertos elementos e interacciones entre ellos, cuya estructura sea la que corresponda al tipo de funcionamiento que se desea explicar y que responda a las preguntas iniciales.

El esquema explicativo corresponde siempre a un cierto nivel de análisis para un periodo dado del funcionamiento del sistema. Pero un esquema explicativo coherente y suficientemente comprehensivo como para abarcar la amplia gama de hechos significativos de los cuales debe dar cuenta la investigación, no se logra en un primer intento. Suele ser el fruto de un largo proceso cuya dinámica es parte esencial de los estudios sobre interdisciplinariedad.

Las relaciones que determinan la estructura del sistema no se descubren *a posteriori* de los estudios disciplinarios parciales, sino que deben plantearse desde el inicio y se continúan elaborando y replanteando a través de toda la investigación. Por eso insistimos en concebir la investigación interdisciplinaria como un proceso y no como un "acto" de coordinación de resultados.

En forma esquemática, dicho proceso debería incluir las siguientes "fases":

1. Reconocimiento general –por parte del equipo de investigación en su conjunto- de los problemas que se procura interpretar y para los cuales se intenta encontrar solución. Formulación de las preguntas de base.

2. Análisis de estudios anteriores realizados sobre aspectos diversos de dicha problemática. En estos análisis debe ponerse especial atención en aquella información que permita preparar el camino para reconstruir la historia de las situaciones y fenómenos que constituyen la motivación del estudio.

3. Identificación de elementos y relaciones para caracterizar, en primera aproximación, un sistema que involucre la problemática referida en 1 y 2, y sus condiciones de contorno.

4. Planteo de hipótesis de trabajo que permitirían explicar el comportamiento del sistema. Esto supone reformular las preguntas de base en términos de las funciones que cumplen los subsistemas y del funcionamiento del sistema.

5. Identificación de la problemática a investigar en cada *subsistema* para verificar o refutar las hipótesis sobre sus funciones dentro del sistema. Planificación de trabajos sobre temas especializados que requieren estudios en profundidad.

6. Investigaciones disciplinarias de los problemas referidos en -en el contexto de las relaciones entre los dominios, de los subsistemas establecidas.

7. Primera integración de los resultados obtenidos en 6, lo cual conduce, generalmente a redefinir el sistema formulado en 3, e incluso a reformular las preguntas iniciales.

8. Repetición de las fases 5 y 6 en relación con la nueva definición del sistema.

9. Segunda integración de resultados y nueva redefinición del sistema.

10. Repetición sucesiva de las fases 8 y 9 tantas veces como sea necesario hasta llegar a una explicación coherente que dé cuenta de todos los hechos observados y responda a las preguntas que han ido surgiendo en el proceso descrito.

Las fases 6,8, Y las sucesivas fases pares, serán denominadas *fases de diferenciación.* En ellas predomina la investigación disciplinaria. Allí puede ser necesario el concurso de muy buenos especialistas, en dominios muy restringidos, ajenos al equipo y sin preocupación por la problemática general.

Las fases 7, 9, y las sucesivas fases impares, serán denominadas *fases de integración.* Allí es necesario que los miembros del equipo tengan la *capacidad de descentración* necesaria para: a) comprender y apreciar los problemas planteados a su propio dominio desde los otros dominios; b) percibir aquellos problemas de su dominio que se prolongan en los otros y formularios adecuadamente ante quienes se especializan en estos últimos.

La tesis central de nuestro trabajo puede ahora enunciarse de la siguiente manera:

Los objetivos de una investigación interdisciplinaria se logran a través del juego dialéctico en las fases de diferenciación e integración que tienen lugar en el proceso que conduce a la definición y estudio de un sistema complejo.

El esquema precedente es sólo indicativo de la forma de coordinar un equipo interdisciplinario. Su objetivo es mostrar la necesidad de distinguir las fases características desde el punto de vista de la interdisciplinariedad. Un aspecto importante de este esquema es la ubicación de la tarea disciplinaria dentro de la actividad interdisciplinaria en su conjunto.

3.2 ACCIONES CONCRETAS Y POLÍTICAS ALTERNATIVAS

Para elaborar un programa de acción sobre el sistema estudiado, se requiere de una *investigación específica* que tiene analogías y diferencias con los estudios de diagnóstico y cuyas características diferenciales podemos resumir en los siguientes puntos:

- Los *estudios de diagnóstico* están centrados en la identificación de procesos y mecanismos que son, por definición, concatenación de eventos que han sucedido en un intervalo de tiempo. El diagnóstico requiere reconstruir la historia, porque lo que ocurre hoy en el sistema es el resultado de esa historia. En otros términos: el diagnóstico del funcionamiento de una estructura requiere conocer los procesos que condujeron a su estructuración.

- Los *estudios de propuestas alternativas* son, por el contrario, de carácter prospectivo. Están centrados en la predictibilidad de la evolución de un nuevo sistema -modificación del actual- que resultaría luego de implementar las medidas que se propongan. Esto requiere identificar (prever) los nuevos procesos que se pondrían en marcha cuando se introdujeran los cambios.

- Una modificación de un sector en un sistema, introduce cambios -en mayor o menor grado, con distintas escalas temporales- en toda la estructura del sistema. La "sustentabilidad" del nuevo sistema será el resultado de las propiedades estructurales (vulnerabilidad, resiliencia, etc.) del sistema resultante.

- El pasaje de una investigación de diagnóstico a un estudio de políticas alternativas no es lineal. Nuevas estrategias productivas, por ejemplo, pueden tener incidencia en partes del sistema que no fueron (o no fueron suficientemente) analizadas para el diagnóstico, por no tener un papel

importante en los procesos que estaban en acción con el sistema productivo vigente. De aquí surge la necesidad de volver repetidamente al diagnóstico en el análisis de cada propuesta de cambio, para investigar aspectos no considerados anteriormente.

- Finalmente, la elaboración de una propuesta no puede restringirse a concebir un nuevo estado de la región (obviamente, que sea mejor que el actual). Para llegar a un tal estado ideal, deben considerarse el tipo de transformaciones que deben ponerse en marcha para que sea posible llegar a él, lo cual requiere analizar cómo pueden modificarse aquellos procesos que rigen, en el presente, el funcionamiento del sistema.

Así planteado, el objetivo del proyecto es resolver lo que en Física se llama "el problema con *condiciones iniciales"*, las cuales imponen restricciones severas a la viabilidad de las soluciones que se conciban. Por ejemplo, en una investigación realizada en México, en una región llamada La Comarca Lagunera se verificó que el sistema hidrológico había llegado a un grado de deterioro posible de detener, difícil de revertir, y seguramente no restaurable en el corto plazo. En la misma región, el subsistema socioeconómico aparecía como susceptible de transformaciones, aun cuando el deterioro del sector campesino había conducido a desarrollar estrategias de sobrevivencia familiar cuya reversión, con miras a elevar el nivel de vida y las condiciones de trabajo, requerirá profundos cambios en la economía regional.

Es en ese contexto que deben concebirse las políticas alternativas.

Ninguna propuesta que no contemple la *posibilidad efectiva* de poner en marcha transformaciones que conduzcan al sistema, desde las *condiciones iniciales* (estado actual del sistema) y hasta el estado de desarrollo sostenido que se haya concebido hipotéticamente como meta, podrá considerarse como aceptable.

El estudio específico de cada propuesta se desarrolla en dos etapas.La *primera etapa* está dirigida a:

- Comprender la naturaleza y el alcance de los objetivos

declarados, es decir, las modificaciones que explícitamente se propone introducir.

- Poner de relieve los objetivos implícitos, es decir, las políticas regionales o nacionales a las cuales responderá su implementación.

- Evaluar los recursos que requerirá su puesta en marcha y su sostenimiento.

La segunda etapa -la más difícil y la que requiere más tiempo de estudio- consiste en un análisis sistémico de cada propuesta, que debe comprender:

a) La forma en que los cambios propuestos en un sector o subsistema se proyectarían sobre los otros sectores o subsistemas.

b) Las nuevas interacciones entre los subsistemas, como consecuencia de las modificaciones de los mismos.

c) Las características de la nueva estructura que adoptaría el sistema (propiedades estructurales).

d) Las modificaciones necesarias en las condiciones de contorno para permitir el funcionamiento del nuevo sistema.

Como resultado de ese análisis, el sistema inicial (surgido del diagnóstico) puede requerir una reformulación debido a la posibilidad de que el análisis haga entrar en juego factores que no se tuvieron anteriormente en cuenta. Habrá, por consiguiente, un *sistema reconstruido* correspondiente a cada propuesta. Es obvio, por otra parte, que el resultado no puede ser inequívoco, dado el grado de indeterminación que tendrán los elementos a considerar en cada uno de los análisis parciales de las etapas señaladas en *a* y *d*.

A partir de allí, el problema consiste en prever cuál sería la

evolución de cada sistema reconstruido. La proyección hacia el futuro de un sistema bio-socio-ambiental no es un problema de fácil solución. La dificultad reside en el juego de interacciones entre procesos con dinámicas diversas y con *diferentes escalas temporales de desarrollo.*

Esto requiere evaluar, para cada sistema reconstruido, la velocidad de desarrollo de los procesos generados en sus subsistemas, el periodo de tiempo en el cual un proceso dado llegue a valores críticos que introduzcan inestabilidad potencial en el sistema y, finalmente, las posibles fluctuaciones que pudieran desestabilizarlo.

El estudio de las proyecciones en el tiempo de los procesos significativos de cada *sistema reconstruido*, y de sus interrelaciones (que constituye, obviamente, un *estudio diacrónico),* debe complementarse con el *análisis sincrónico* del comportamiento que tendría el sistema global en diversos momentos futuros, si las proyecciones son correctas. Esto significa realizar "cortes" en el tiempo, con intervalos que estarán sugeridos por la dinámica de los procesos. Cada corte conduce a recomponer el sistema, mostrar cómo estaría funcionando en ese momento y proceder al tipo de análisis sistémico ya enunciado. Al sistema recompuesto, para cada corte en el tiempo, lo denominamos *escenario*, adoptando una terminología ya usual en la literatura, aunque con variantes que corresponden a otros contextos.

Al término de la etapa anterior será posible completar la clasificación y evaluación del valor relativo de las diversas propuestas. Sobre esa base se elabora finalmente el "proyecto de cambio recomendado".

4. LAS BASES DE LA ARTICULACIÓN DISCIPLINARIA

En el estudio interdisciplinario de los sistemas complejos, *la articulación entre las disciplinas comienza en el mismo punto de partida de la investigación, a través de un marco epistémico común.* Sin ello no es posible lograr un estudio sistémico que conduzca a un *diagnóstico integrado y a una formulación compartida de políticas alternativas.*

El marco epistémico está orientado por una normatividad extradisciplinaria de contenido social que involucra qué es lo que "debería hacerse" y que sirve de base a la investigación posterior (desde la elección inicial de "observables"). Esta consideración borra todo límite preciso que permita establecer una diferencia neta entre una explicación de lo que sucede y una apelación a lo que debería suceder. Desde esta perspectiva, conceptos tales como la "racionalidad ambiental" (Enrique Leff) "uso correcto de los recursos" (Víctor Toledo) adquieren sentido preciso a partir de un marco epistémico que fija *normas*, basadas en *sistemas de valores* que orientan el tipo de preguntas que cada investigador va a introducir en términos de su propia disciplina. Si el edafólogo, el hidrólogo, el agrónomo, el tecnólogo, el sociólogo, el economista, no concuerdan en esto *desde el comienzo*, la investigación en equipo de un sistema ambiental se torna imposible o, por lo menos, conflictiva.

Sin embargo, el marco epistémico y la normatividad implícita que encierra no son "elementos exógenos" que hay que aceptar o rechazar por decisiones puramente subjetivas. La insistencia en buscar una diferencia neta entre explicación y normatividad proviene de haber extrapolado de manera ilegítima la diferencia entre *hechos y normas.* Se olvida aquí que la aplicación de la norma tiene implicaciones prácticas, las cuales son susceptibles de *estudio empírico.* El pasaje del hecho a la norma es ilegítimo. Sin embargo, la aplicación de una norma es un hecho. Y este tipo de hechos -que suelen designarse como "hechos normativos"- son un objeto legítimo de análisis como

cualquier otro hecho económico o social.

Quizás sea la Economía la disciplina donde más claramente se pone de manifiesto el papel fundamental que juega el marco epistémico, dado que las implicaciones sociales de sus investigaciones son directas. Los economistas suelen defenderse diciendo que, "suponer que la sociedad se comporta como se comporta porque los economistas (u otros científicos) lo recomiendan, es una interpretación errónea (o ingenua) de la relación entre ciencia y sociedad".

Sin embargo, en muchos países -particularmente en Latinoamérica- son los ministerios de economía (erigidos en verdaderos superministerios) quienes establecen y aplican las normas que afectan profundamente a la sociedad. Si no son ellos quienes las generan, son ellos quienes proveen la "racionalidad económica" de las medidas que aplican. ¿Quiénes sino ellos justifican el comportamiento del país en su conjunto frente a los problemas de la deuda, a las privatizaciones, a las políticas de inversiones, a la utilización de los recursos, a las políticas de precios y salarios? Las justificaciones que ofrecen obedecen a cierta concepción de la economía. Allí la normatividad juega a dos puntas: por un extremo, está implícita en el marco epistémico a partir del cual se genera la teoría; pero luego la teoría se utiliza para fundamentar la "legitimidad" o "racionalidad" de las normas que se aplican.

Los meteorólogos no son culpables de las trayectorias que siguen los ciclones tropicales, ni de las devastaciones que producen, por lo menos hasta que no tengan éxito los ensayos para desviados de su curso natural. Por el contrario, hay ejemplos claros de "trayectorias" de la economía de los países, que son el resultado de políticas impuestas, y luego justificadas "científicamente".

Los miembros de un equipo multidisciplinario de investigación interdisciplinaria deben compartir un marco epistémico y concordar en el análisis de una problemática común, lo cual no significa poseer una teoría común omniabarcante de toda esa problemática. Sí significa compartir una posición crítica frente a conceptos basados en "verdades científicas" a medias, erigidas en mitos: las ventajas comparativas, la productividad, el eficientismo, la modernización, la sobrepoblación.

Quienes han sostenido que la destrucción de esos mitos se hace desde una teoría general, suelen afirmar también que la aplicación de esos mitos en la explotación abusiva de recursos no es sino un corolario de los modelos de acumulación capitalista. Esta afirmación es equívoca, y requiere dos tipos de aclaración.

En primer lugar, si bien es cierto que la acumulación capitalista, generalmente orientada hacia la obtención de máximas ganancias en el mínimo de tiempo, conduce a formas de explotación que se justifican con argumentos donde entran en juego dichos mitos, no puede negarse que también varios de ellos encontraron aplicación en el mundo socialista.

Por otra parte, la cuestión no se resuelve señalando al culpable. El desafío que el estudio integrado de sistemas complejos plantea a los científicos, en particular en el caso de problemas ambientales, es la detección y el análisis de los *mecanismos* de deterioro físico y social. Sin ese conocimiento no es posible orientar la búsqueda de políticas alternativas. Y no existe *una* teoría de *todos* los mecanismos, porque los procesos que tienen lugar en distintos sectores de la realidad son específicos de cada dominio, aunque su génesis última responda a causas comunes. La búsqueda de una teoría general es utópica. Ni aun en el dominio más restringido de la Física existe *una* teoría que explique "todos" los fenómenos.

Esto plantea nuevamente la necesidad de estudios disciplinarios y de su articulación. Pero no una articulación de resultados *a posteriori* de los estudios parciales, sino una articulación desde el inicio que se va perfeccionando a través de las sucesivas fases de diferenciación e integración antes descritas.

Así, la concepción de la investigación interdisciplinaria de sistemas complejos constituye un instrumento poderoso para lograr dos tipos de integración:

1) La articulación de los estudios que realicen los integrantes de un equipo en la práctica concreta de la investigación.

2) La interpretación de la evolución de un sistema como totalidad organizada en la cual los diversos elementos (subsistemas) están en constante interacción y donde se

interconectan procesos con distintas escalas espaciales y temporales.

5. ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE LA FORMACIÓN DE CIENTÍFICOS SOCIALES

La formación de investigadores capaces de realizar estudios interdisciplinarios ha sido ampliamente discutida desde hace décadas (ver, por ejemplo, Apostel 1975). Desde la perspectiva de los sistemas complejos es posible reformular las interrogantes y ofrecer respuestas concretas.

¿Cómo se forman profesionales e investigadores capaces de abordar el estudio interdisciplinario de sistemas complejos?

Para desarrollar la respuesta, tomemos un caso ejemplar de problemáticas que funcionan como detonantes que disparan el mecanismo de apertura de un telón que deja al descubierto el escenario dramático del mundo contemporáneo, y cuyo estudio exige una perspectiva sistémica: los problemas ambientales.

Hay mil millones de desnutridos, según cifras de la OMS. Uno de cada cinco niños que nacen en el Tercer Mundo muere antes del primer año de vida por factores derivados de la miseria. La pobreza de un gran sector de la humanidad aumenta en proporciones crecientes. La lista de calamidades sociales es interminable.

Estos problemas no son nuevos, excepto en las dimensiones que han adquirido las catástrofes. Lo que sí es nuevo es el hecho de que los problemas del medio ambiente hayan pasado a primer plano en la atención de los gobiernos y de los organismos internacionales. No es muy aventurado pensar que esa prioridad mundial que adquirió la problemática ambiental se debe, en buena medida, a que también los "grandes" están ahora entre las víctimas. La mitad de la Selva Negra está aniquilada; ni Schubert, ni Strauss podrían hoy inspirarse frente al Rhin o al Danubio; y en las grandes ciudades, el *smog* ignora insolentemente las diferencias de clase. Tampoco es aventurado inferir que esas son las razones por las cuales la lucha contra la contaminación recibe el mayor apoyo frente a otros problemas de deterioro ambiental, como aquellos que han generado hambrunas en extensas regiones del Tercer Mundo.

Esta situación conduce a ciertas conclusiones con respecto a la formación de investigadores capaces de analizar un sistema complejo. Por ejemplo:

- Para los científicos sociales, y en particular aquéllos que pertenecen a lo que fue considerado como Tercer Mundo (aunque hoy todas esas designaciones han quedado obsoletas), aquella parte de la problemática ambiental que les concierne directamente está indisolublemente unida a la problemática general, social y política.

- Preparar científicos sociales capaces de enfrentar esa problemática requiere un cambio profundo en la formación de los científicos - "sociales" y "naturales" - que signifique una toma de conciencia de la dimensión social de la ciencia y de la responsabilidad social del científico. Parecería una extraña redundancia, o aun una ridícula paradoja, hablar de la responsabilidad social del... científico social, pero no lo es. La problemática ambiental puede servir aquí también de ejemplo detonante, dado el reconocimiento universal de la gravedad de la situación. Pero cualquier problema de estudio que involucre factores sociales, es decir, cualquier sistema complejo, implica enfrentar este tipo de cuestiones.

- La toma de conciencia de estos problemas no se puede dejar para un postgrado o para un *invisible College*.

Resumiendo los aspectos a manera de conclusión, y a riesgo de ser reiterativos, me parece necesario sintetizar las principales implicaciones de los análisis que hemos presentado en las secciones precedentes:

- El objetivo central de la investigación interdisciplinaria de sistemas complejos es el diagnóstico de la raíz de los problemas, ya sea para prevenidos, o para generar políticas que detengan y reviertan el deterioro.

- Una de las limitaciones centrales de otro tipo de estudios es la fragmentación ilegítima de los problemas. La mayoría de los estudios son de carácter sectorial, circunscriptos al dominio de una disciplina. Los casos, menos frecuentes, de estudios multi-sectoriales, se realizan por simple adición de estudios parciales, ignorando las características sistémicas de los procesos fundamentales involucrados en la problemática de estudio.

- La segunda limitación es correlativa con la anterior y tiene que ver con la estrechez de los marcos conceptuales dentro de los cuales se mueven las disciplinas. Es necesario reformular los enfoques tradicionales en cada una de las disciplinas, con el doble objetivo de extender su dominio de aplicación y de incorporar temáticas comunes con otras disciplinas, para permitir la articulación de sus análisis.

- La ampliación del dominio de problemas que abarca cada disciplina no es sólo un requerimiento de ciertas problemáticas. Existe una situación de crisis generalizada en las ciencias sociales en lo que concierne a su capacidad para tratar los problemas estructurales que afectan particularmente a los países del llamado Tercer Mundo.

- Cuando se trata de estudiar un sistema complejo, como es el caso de la mayor parte de los problemas que involucran a la sociedad, no basta con visualizar, desde cada disciplina, los problemas allí involucrados para luego "poner juntos" los resultados de los respectivos análisis. Un *sistema complejo* funciona como una totalidad. Los procesos que allí tienen lugar están determinados por la interacción de elementos o subsistemas que pertenecen a dominios disciplinarios diversos y cuya contribución a cada proceso no es enteramente separable de las otras contribuciones. Esta consideración adquiere fundamental importancia cuando se

estudia la evolución del sistema como tal, por cuanto *la dinámica de la totalidad no es deducible de la dinámica de los elementos considerados aisladamente.*

Si se aceptan los puntos precedentes parece necesario considerar varios niveles de acción en la formación de profesionales e investigadores en el estudio de sistemas complejos:

- El *nivel epistémico,* que condiciona el marco ideológico dentro del cual se inscribe cualquier investigación, debería ser incluido como parte de la formación de profesionales e investigadores, *en todos los niveles y todas las disciplinas* involucradas en el estudio de sistemas complejos.

- Viene, luego, un *nivel disciplinario.* Es fundamental una formación disciplinaria sólida que sirva de base para el trabajo interdisciplinario.

- Finalmente, *el estudio y la práctica de la investigación de sistemas complejos* -que llamaremos el *nivel sistémico*- debería formar parte de programas de postgrado desarrollados sobre la base de proyectos concretos de investigación interdisciplinaria.

CAPÍTULO IV

Teoría de sistemas y ciencias sociales

1. LA HERENCIA DEL SIGLO XVII

La ciencia, tal como hoy la concebimos, tiene una edad de cuatro siglos. Es un periodo breve dentro de la historia de la civilización, como lo es también, relativamente, dentro de la historia de las instituciones. Baste recordar que la Academia Platónica se mantuvo durante nueve siglos, y que en los siglos XII y XIII ya estaban en actividad varias universidades.

Esos cuatro siglos constituyen una historia rica en cambios, en transformaciones y en reformulaciones. No sólo se amplió enormemente el dominio de objetos de los cuales se fue ocupando la ciencia, sino que se transformó la naturaleza del quehacer científico. Más importante aún, la noción misma de explicación científica se fue modificando. Pero, a su vez, la continuidad histórica de este período nos permite decir que pertenecemos a la misma tradición científica que culminó con la revolución científica del siglo XVII, a partir de la cual la historia de la ciencia se puede dividir en un "antes" y un "después".

De entre los muchos factores que han sido objeto de estudios históricos para explicar en qué consistió el cambio que allí tuvo lugar, dos elementos predominantes son particularmente pertinentes para nuestro análisis.

El primer elemento a considerar es la ruptura con la tradición aristotélica-medieval en un punto que dará la clave para el desarrollo ulterior de la ciencia. Para Aristóteles, el mundo se componía de sustancias, con sus propiedades o atributos. Investigar algún fenómeno de la

realidad significaba indagar acerca de la naturaleza de los objetos que participaban en él. La piedra cae y el aire sube porque es parte de su propia *esencia* que ocupen, en un cierto orden, su lugar en la naturaleza. Ese mundo de esencias es reemplazado, en la revolución científica del siglo XVII, por un mundo donde priman las relaciones. Para expresado en una fórmula muy condensada: el objeto se define por sus relaciones, y no las relaciones por la naturaleza del objeto.

Este cambio de concepción tendrá una consecuencia inmediata que será decisiva en la determinación del rumbo que tomará la investigación científica, y que constituirá el segundo de los elementos que hemos mencionado como características de la revolución científica: en múltiples dominios, las relaciones pueden representarse matemáticamente, es decir, como relaciones funcionales entre variables. Esto estimuló la generación de nuevos conceptos que condujeron a nuevas formas de cuantificar fenómenos de la realidad.

Las dos características que hemos mencionado -la primacía de las relaciones y la matematización- otorgan a la revolución científica del siglo XVII una significación muy especial. El cambio más profundo no consistió en la introducción de una nueva metodología, sino en una nueva concepción del mundo y de la ciencia que lo estudia.

2. DE LAS SUSTANCIAS Y SUS ATRIBUTOS A LAS RELACIONES

La primacía otorgada a las relaciones fue permeando paulatinamente los diversos dominios del conocimiento. Ello permitió superar las dificultades que durante siglos habían impedido formular con suficiente precisión los problemas que podían ser objeto de investigación teórica y experimental. Llevó también, aunque tardíamente, a salvar los escollos que siempre presentaron las definiciones de los conceptos básicos. Así, por ejemplo, el número natural se logró definir cuando se advirtió que se puede explicar el significado de la expresión

"un conjunto tiene cinco elementos" sin haber definido previamente "cinco"; y que la definición de "número cinco" precede a la definición de "número". No hay, por consiguiente, en el concepto de número natural, nada que sea su propia "esencia" y que no surja de las relaciones de congruencia entre conjuntos.

De la misma manera, no definimos primero qué es "forma", en abstracto, para luego determinar cuándo dos figuras tienen la misma forma, sino que definimos primero qué significa que dos figuras "tienen la misma forma" para abstraer de allí el concepto de forma.

El análisis del lenguaje sufrió un proceso similar. Se pasó de privilegiar la palabra como elemento de la significación, a considerar la frase como el contexto que confiere significación a los elementos. Fue quizás Jeremy Bentham quien extendió a todo el lenguaje el análisis medieval de términos sincategoremáticos. Esta transferencia tuvo profundas consecuencias. La teoría de las descripciones de Bertrand Russell, considerada con justicia como un paradigma de análisis filosófico, utilizó las definiciones con textuales para liberar la filosofía del superpoblado y fantástico mundo de seres imaginarios que la metafísica se había creído obligada a aceptar (los "círculos cuadrados" o "la montaña de oro" de Meinong) debido a una mal análisis del lenguaje.

No es necesario seguir con una larga lista, baste con citar un ejemplo tomado de la sociología: para definir clase social, Max Weber define "situación de clase" antes de haber definido "clase", concepto que introduce a partir de la primera definición: "entendemos por clase todo grupo humano que se encuentra en una igual situación de clase" (Weber, 1944).

La segunda característica de la revolución científica que hemos mencionado -la matematización- no corrió igual suerte de generalización. Por el contrario, el siglo XIX, que vio surgir como ciencia a la biología así como a varias ramas de las ciencias sociales, estableció barreras que parecían insalvables entre estas disciplinas y las ciencias físicas. Las dificultades que surgían en la cuantificación de variables y en la formalización de las teorías no fueron ajenas a la formación de reductos aislados dentro de la ciencia.

A esto se sumó, naturalmente, la idea de que la especificidad de los fenómenos físicos, biológicos y psicosociales hacían imposible pensar que las conceptualizaciones de los primeros pudieran extenderse a los otros dominios. Los intentos por encontrar vías de enlace fracasaron hasta que, a principios de nuestro siglo, el empirismo lógico (particularmente la Escuela de Viena), creyó haber encontrado la clave de la unificación en una teoría reduccionista. El precio a pagar fue excesivo. El reduccionismo tuvo algunos éxitos notables, como en la explicación de fenómenos biológicos a través de la bioquímica, pero produjo reacciones de repudio comprensibles en las ciencias sociales que se sintieron deformadas y amputadas. No fueron éstos, sin embargo, los únicos cuestionamientos.

3. DE LAS RELACIONES A LAS ESTRUCTURAS

A mediados del siglo XX, la brillante pero infructuosa "reconstrucción racional" de la ciencia a la que aspiró el empirismo lógico, comenzó a ser cuestionada desde el interior mismo del campo empirista. El análisis histórico ponía en evidencia que el desarrollo de las ideas y de las teorías científicas había seguido derroteros que se apartaban de los cánones establecidos por la Escuela de Viena, aun con todas las modificaciones introducidas por sus herederos y continuadores esparcido por el mundo.
Las reformulaciones siguieron direcciones diversas y con características muy diferentes. Sin embargo, en ese periodo comenzó a plantearse, en diversos campos de la ciencia, una nueva problemática que daría lugar a cambios conceptuales no menos profundos que los ocurridos en el siglo XVII. Hemos caracterizado al siglo XVII como el que introdujo el estudio de

las relaciones en sustitución de las sustancias o "esencias" de la concepción aristotélica-medieval. El siglo XX mantuvo esa sustitución. Las relaciones habían llegado a la ciencia para quedarse con ella; pero su papel fue cada vez más complicado. Hacia mediados del siglo se fue abriendo paso una idea que habría de convertirse en tema central en numerosos dominios de la ciencia y que, en primera aproximación, podría sintetizarse así: los fenómenos que involucran procesos de evolución y cambio, cualquiera que sea su naturaleza (física, química, biológica, social), tienen lugar en conjuntos organizados cuyo análisis no es fragmentable en elementos aislados. La organización adquiere, por consiguiente, primacía sobre las relaciones parciales. El énfasis se desplaza de las relaciones a las relaciones entre relaciones.

La idea de organización no es nueva. Estaba ya presente en Aristóteles. Hegel y Marx abogaron por ella y los biólogos sostuvieron, desde el siglo XIX, que su unidad de análisis era el organismo. Sin embargo, los avances logrados en diversos campos teóricos y experimentales (incluyendo el desarrollo de las computadoras como instrumentos de experimentación matemática), dieron al tema proyecciones insospechadas y abrieron campos de investigación totalmente nuevos.

Si llamamos *sistema* a todo conjunto organizado (físico, biológico, social) que tiene propiedades, como totalidad, que no son propiedades de sus elementos tomados aisladamente, la organización del sistema que determina su estructura no es otra cosa que el conjunto de las relaciones entre sus elementos (moléculas, órganos, comunidades, individuos), incluyendo las relaciones entre esas relaciones.

La introducción, en este texto, de los términos *sistema* y *estructura* requiere algunas aclaraciones debido a los múltiples significados que han recibido dentro de posiciones epistemológicas y metodológicas divergentes.

Es importante establecer una primera distinción. Las estructuras de la lógica formal y de las matemáticas son, obviamente, atemporales. En esos campos, el término estructura designa un concepto estático. Quienes rechazaron, desde las ciencias sociales, todo tipo de análisis estructural, sosteniendo que la aplicación del concepto de estructura a los procesos de la realidad empírica es ilegítima, se estaban refiriendo a las

estructuras de tipo lógico-matemático.

En el mundo empírico (y obviamente las ciencias sociales pertenecen a él), la organización de un sistema está dada por las interrelaciones entre procesos, y un proceso es una concatenación de eventos que se dan en el tiempo. Esto parecería dar razón a las posiciones antiestructuralistas o se trata, sin embargo, de un problema mal planteado.

4. ESTRUCTURAS Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

En síntesis, las posiciones estructuralistas y antiestructuralistas clásicas representan dos puntos de vista contrapuestos entre:

- aquellos que consideran que las estructuras están dadas, es decir, que no tienen historia o que su historia es ajena a las explicaciones que pueden darse para establecer cómo funcionan (posición generalmente asociada a los nombres de Saussure y de Lévi-Strauss), y

- aquellos que consideran que el concepto de estructura no tiene aplicación fuera de la lógica y la matemática porque, en "el mundo real", todo es cambiante y el cambio no puede ser entendido sobre la base de un concepto como el de estructura, que ellos asumen estático por definición.

Jean Piaget señaló, muy agudamente, que la primera posición está centrada en la idea de estructura sin génesis, mientras que la segunda concibe la historia como un devenir sin estructura. Él fue el primero en mostrar, en un caso muy particular como es el desarrollo de la lógica en el niño y el adolescente, que las estructuras se construyen, y que, para poder explicar cómo funciona una estructura, es necesario entender cuáles son los procesos que la generaron.

La superación de la antítesis entre estructuralismo e historicismo se expresa en Piaget, de manera tajante, al repudiar

por igual *la estructura sin historia y la historia sin estructura.* Toda superación de una antinomia exige una reformulación, y aquí la reformulación (aunque no fue expuesta así por Piaget) tiene sabor hegeliano: la estructura de un sistema se comprende a través de su historia, porque la historia del sistema está constituida por una sucesión de estructuraciones y desestructuraciones.

5. ANÁLISIS SISTÉMICO: SISTEMAS DESCOMPONIBLES Y SISTEMAS COMPLEJOS

Hemos advertido que la utilización del término sistema se presta a confusiones, dada la diversidad de sentidos que se le atribuyen. Aunque se pretenda estar hablando de lo mismo, esa diversidad suele esconder diferencias fundamentales en las concepciones del mundo y de la ciencia.

La situación se torna aún más confusa por la proliferación de "análisis sistémicos" aplicados a muy diferentes formas de conceptualizar el estudio de sistemas. Conviene, por consiguiente, deslindar posiciones.

Un par de referencias permitirá identificar casos específicos que *no* corresponden al concepto de sistema y de análisis sistémico propuesto por la Teoría de Sistemas Complejos.

En Hartnett, W. (1977), el capítulo 3, titulado *The Fundamental Duality of System Theory*, firmado por E.S. Bainbridge, comienza así:

> Un sistema puede especificarse de dos manera. En la primera, que llamaremos "descripción de estado", se especifican conjuntos de insumos, productos y estados, junto con la acción de los insumos sobre los estados y la asignación de productos a los estados. En la segunda, que llamaremos "descripción coordinada", se dan ciertos insumos, productos y estados variables, junto con un sistema de ecuaciones dinámicas

> que describen las relaciones ente las variables como función del tiempo. (p. 45)

En la monografía publicada por UNESCO y editada por A. Ruberti (1984), el capítulo de S. de Julio y A. Ruberti titulado *General Methodologies in System Sciences and Mathematical Modelling,* ofrece, en forma más explícita un concepto similar:

> En el contexto de la teoría de sistemas, un fenómeno, proceso u objeto se considera aislado del "universo" del cual forma parte y con el que está ligado a través de diferentes cantidades que se clasifican de la siguiente manera:
>
> - cantidades que pueden ser modificadas ya sea directa o indirectamente y que permiten a uno actuar sobre el propio fenómeno: éstas se definen en cantidades de insumo (o insumos) y también pueden ser interpretadas como cantidades control;
>
> - cantidades que pueden observarse directa o indirectamente: éstas se definen como cantidades producto (o productos) y pueden interpretarse como cantidades controladas;
>
> - otras cantidades que corresponden a interacciones que no pueden ser ignoradas y de alguna manera constituyen insumos no cambiantes; éstas, por lo tanto, usualmente tienen las características de disturbios debido al efecto indeseable que producen. Las variables de insumos y productos se asocian con la correspondiente evolución en el tiempo. El conjunto de todos los posibles pares insumo-producto se llama sistema (abstracto) que está asociado con el fenómeno (proceso u objeto) considerado. (p. 2)

Con estas consideraciones, los autores llegan a la siguiente definición:

…la definición del enfoque de sistemas está basada en que el sistema abstracto, de hecho, se constituye por todos los posibles pares insumo-producto que se pueden asociar con un fenómeno dado. (p. 4)

El tipo de "análisis sistémico" que surge de los dos ejemplos citados ha sido utilizado exitosamente en problemas concretos de ingeniería, como por ejemplo en hidráulica: así se planificó en Holanda, con un modelo que funciona admirablemente, el control de nivel de las aguas en todo el país. No es éste, sin embargo, el concepto de sistema y de análisis sistémico que puede servir a las ciencias sociales. Ningún modelo de "insumo-producto" *(input-output)* puede representar, ni lejanamente, un conflicto de clases o la degradación ambiental y social generada por la explotación abusiva de recursos naturales en vastas regiones del mundo. Las propiedades estructurales de un sistema no son representables por un conjunto de flujos entre "entradas" y "salidas" del sistema representadas gráficamente como un conjunto de "cajas".

La suma de las entradas y salidas de las diversas cajas explicaría el comportamiento del sistema. Llamaremos *sistemas descomponibles* a los sistemas que pueden ser analizados de esa manera, y *sistemas complejos* a los que no son descomponibles. Los sistemas biológicos, ecológicos, sociales, son sistemas complejos.

Ya hemos señalado que los biólogos (aun antes de que la biología fuera una ciencia) sostuvieron que era necesario considerar al organismo como una unidad de análisis. ¿Cuál es el sentido preciso que puede tener esta afirmación? En principio, parecería que ella equivale a decir que el organismo es un sistema complejo, es decir, no descomponible. Pero aquí hay una ambigüedad cuya eliminación no es obvia.

Cualquier animal -un burro- es un sistema complejo. Su organismo está compuesto por células. Las células también son sistemas complejos, como lo señalan los siguientes comentarios (Zeleny y Pierre en Jantsch y Waddington, 1976):

Hay aproximadamente 10^{20} moléculas en una célula viviente. Sólo en el núcleo de las células se han identificado más de cien reacciones químicas diferentes; sin embargo las propiedades de los componentes aislados agregan poco o nada a nuestra comprensión de cómo trabaja una célula. (p. 153)

Una célula […] no puede ser comprendida estudiando las propiedades de sus componentes. Sus propiedades, como totalidad, están determinadas por las propiedades de las interacciones entre los componentes, es decir, por su organización dinámica. Intentar adscribir un valor determinante a cualquier componente o a cualquiera de sus propiedades, sea el ADN, el ARN o un virus, es un artificio científico (p. 160).

Está claro que los autores consideran a la célula como una unidad cuyo funcionamiento como totalidad es necesario comprender. ¿Cuál es, entonces, la unidad de análisis? ¿El burro o la célula?

Para responder a ésta y a otras múltiples cuestiones que plantea el estudio de sistemas complejos es necesario recapitular, aunque sea de manera muy resumida, algunos elementos de la teoría.

6. ELEMENTOS DE UNA TEORÍA DE SISTEMAS COMPLEJOS

6.1 EL EQUILIBRIO DINÁMICO DE SISTEMAS ABIERTOS

Los sistemas complejos poseen una doble característica: (1) estar integrados por elementos heterogéneos en permanente interacción y (2) ser abiertos, es decir, estar sometidos, como totalidad, a interacciones con el medio circundante, las cuales pueden consistir en intercambios de materia y energía, en flujos

de recursos o de información o en la acción de ciertas políticas. Una vasta literatura que contiene los

resultados de numerosas investigaciones desarrolladas en las últimas décadas ha permitido comprender cómo se comportan dichos sistemas y, en particular, establecer algunos principios que permiten entender las formas características de su evolución en el tiempo.

Bertalanffy fue el primero que planteó la necesidad de considerar al organismo biológico como un "sistema abierto", dentro del marco de lo que él llamará luego "Teoría General de Sistemas". En un artículo publicado en 1940 (reproducido en Bertalanffy, 1968) enuncia el problema con toda claridad:

> El organismo no es un sistema estático cerrado al exterior y que siempre contenga componentes idénticos; es un sistema abierto en un estado (casi) estable que mantiene constantes sus relaciones de masa en un continuo cambio de energía: y componentes materiales, en el cual la materia continuamente entra de y sale hacia el ambiente exterior. El carácter del organismo como un sistema en estado estable (o más bien casi estable) es uno de sus criterios primarios. De modo general, los fenómenos fundamentales de la vida pueden considerarse como consecuencia de este hecho. (p. 121)

El interrogante que formula Bertalanffy en ese trabajo es fundamental: ¿cómo es posible que un sistema que está lejos de una situación de equilibrio termodinámico pueda permanecer en condiciones estacionarias y en constante intercambio de materia y energía con el medio exterior? La termodinámica de los procesos irreversibles, cuyo análisis sistemático comenzó a fines de la década de los años cuarenta gracias al impulso de los trabajos de Prigogine, dio una respuesta precisa a esa pregunta (Prigogine, 1947 y 1955).

Casi simultáneamente al trabajo de Bertalanffy arriba citado, Jean Piaget publica un artículo titulado "El desarrollo mental en el niño" (Piaget, 1964), que comienza así:

> El desarrollo psíquico, que comienza desde el nacimiento y llega a su fin en la edad adulta, es comparable al crecimiento orgánico: como este último, consiste en una marcha hacia el equilibrio. En efecto, así como el cuerpo está en evolución hasta un nivel relativamente estable, caracterizado por la finalización del crecimiento y la madurez de los órganos, la vida mental puede ser concebida como una evolución en la dirección de una forma de equilibrio final representada por la mente adulta. El desarrollo es, por consiguiente, en cierto sentido, una equilibración progresiva, un pasaje perpetuo de un estado de menor equilibrio a un estado de equilibrio superior. (p. 9)

La pregunta que se plantea Piaget es similar a la de Bertalanffy: ¿cómo es posible que, a partir de la "incoherencia infantil", el adulto normal maneje finalmente una lógica que permanecerá estable?

La teoría que desarrolla Prigogine para explicar el estado estacionario de sistemas físicos, químicos o biológicos, fuera del estado de equilibrio, y la teoría de Piaget sobre la equilibración de lo que el llamará la "lógica operatoria", son sorprendente mente similares. En ambos casos se trata de estados de equilibrio dinámico caracterizado por lo que Prigogine llama "transformaciones estables" y que Piaget denomina "transformaciones reversibles". En ambos casos se trata de transformaciones con mecanismos capaces de compensar las perturbaciones. (Este tema está ampliamente desarrollado en García, 1992).

En el artículo ya citado, Piaget expresa (aunque no desarrolla) la idea de que "las relaciones sociales [...] obedecen a la misma ley de estabilización gradual".

En el curso de su desarrollo, la teoría de sistemas abiertos se aplicó a problemas en todos los dominios, pero su rápido avance la condujo a desplazar el centro de interés, de la explicación de los estado estacionarios, hacia el estudio de la desestabilización y reorganización de los sistemas. Sin embargo, la caracterización de un sistema abierto ha sido fundamental para la formulación de la teoría de sistemas complejos.

6.2 ESTRUCTURA, COMPLEJIDAD Y JERARQUÍAS

La primera de las características con las cuales hemos definido un sistema complejo es estar constituido por un conjunto de objetos (los elementos del sistema) en continua interacción. Esto implica:

a) que el sistema, como totalidad, tiene propiedades que no son la simple adición de las propiedades de los elementos;

b) que el sistema tiene una estructura determinada por el conjunto de las relaciones entre los elementos, y no por los elementos mismos;

c) que las relaciones que caracterizan la estructura constituyen vínculos dinámicos que fluctúan de manera permanente y, eventualmente, se modifican de forma sustancial dando lugar a una nueva estructura.

El punto *a* expresa simplemente la definición tradicional de "sistema". El punto e será desarrollado en la sección que trata sobre el análisis de estructuras.

El enunciado del punto *b* requiere mayor elaboración porque los elementos de un sistema (moléculas, células, organismos, grupos sociales) están constituidos, a su vez, por sus propios elementos y tienen su propia estructura. En este caso, diremos que son *subsistemas* del sistema total.

Cuando se analiza un sistema compuesto de subsistemas, las relaciones que entran en juego son las que vinculan los subsistemas entre sí, y no las relaciones internas dentro de cada subsistema. Sin duda, las primeras dependen en gran medida de las segundas, pero no de manera directa. En el comportamiento de un subsistema dentro de un sistema, pueden entrar en juego unas pocas relaciones determinantes que, en cierta manera, "integran" toda la complejidad de las relaciones internas dentro de ese subsistema.

Esto permite establecer *jerarquías* de subsistemas dentro de un sistema y definir niveles de análisis correspondientes a los niveles de organización dentro del sistema. Los conceptos de "niveles de descripción" y "jerarquía de estructuras" se encuentran desarrollados, aunque desde perspectivas diferentes a la nuestra, en R. Rosen (1977) y H. Simon (1977).

Así resolvemos el dilema de la elección del burro o de la célula como unidad de análisis. Cuando queremos estudiar el comportamiento del burro, no intervienen, como "variables" a tomar en cuenta, el análisis de las reacciones químicas en el interior de las células.

Al establecer la jerarquía de sistemas y subsistemas, es importante la delimitación, dentro de cada nivel, de los *elementos* que funcionan como subsistemas de ese nivel. La decisión puede ser más o menos obvia en algunos dominios, pero no en otros.

Una célula funciona como un sistema abierto cuya unidad (como sistema) y estabilidad en el tiempo están mantenidas por los intercambios con los otros elementos del tejido de que forma parte. Un órgano compuesto de un enorme número de células también funciona como sistema organizado que se mantiene estable por los flujos con el medio en sus interacciones con otros órganos, hasta llegar al organismo total (el burro, en nuestro ejemplo).

En las ciencias sociales, la distinción de niveles e identificación de sistemas y subsistemas depende, en gran medida, de las concepciones del investigador, del tipo de preguntas que se ha formulado y de los objetivos de la investigación. De aquí que las generalizaciones inductivas a partir de la obtención de datos por muestreos al azar, sin una conceptualización previa que incluya la jerarquización de sistemas que es pertinente para el estudio, puede conducir a conclusiones poco pertinentes para el problema que se está estudiando.

6.3 ESTRUCTURA, FUNCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Adaptando una terminología introducida por Piaget (1967),

llamaremos *funcionamiento* de un sistema al conjunto de actividades del sistema como totalidad organizada. El término *función* queda así reservado para designar la acción que ejerce un subsistema sobre el funcionamiento del sistema total. La articulación entre función y funcionamiento implica una interacción dialéctica entre el sistema y sus subsistemas.

El sistema, como totalidad, impone sus propias leyes a los subsistemas. Es decir, hay una acción de organización que el funcionamiento del sistema total ejerce sobre sus subsistemas. Concebido el sistema como una totalidad organizada, la acción de organización -o acción de la totalidad sobre las partes- se pone de manifiesto, tanto en los mecanismos homeostáticos que mantienen un sistema en estado estacionario, como en los procesos de reorganización que conducen a la formación de nuevas estructuras estabilizadas. La interacción dialéctica entre el todo y las partes, formulada de manera vaga ya en el siglo XIX, encuentra hoy una definición clara y precisa en la teoría de sistemas complejos.

6.4 LÍMITES DEL SISTEMA Y CONDICIONES DE CONTORNO

Una vez que se han identificado los elementos y las relaciones que definen el sistema que será objeto de estudio (que no es otra cosa que un modelo simplificado que construimos para representar el sector de la realidad que estamos estudiando), cualquier otro elemento es considerado como "externo" al sistema. En los sistemas ambientales, por ejemplo, además de los límites geográficos que le asignamos en un estudio de caso concreto, sólo se toma en cuenta, en cada fase de la definición del sistema, un subconjunto del conjunto de relaciones sociales que son pertinentes para el análisis de las interrelaciones de la sociedad con el medio físico. Esta elección se puede hacer de más de una manera. Pero en cada etapa del estudio debemos establecer una separación entre las relaciones seleccionadas que quedan "dentro" del "modelo" que hemos construido para representar el sistema y las que hemos dejado "afuera". Establecer límites geográficos no significa aislar el

sector de la realidad que vamos a estudiar; dejar elementos o relaciones "fuera" del sistema o modelo construido tampoco significa ignorados. Se trata sólo de una división metodológica inescapable (so pena de tener que estudiar todo el universo en todos sus detalles). Pero esa división entre factores "externos" e "internos" al sistema sólo es permisible si se toman en cuenta las interacciones entre ambos. Técnicamente, tales interacciones se tratan como *flujos* a través de los *límites* del sistema construido (límites geográficos o conceptuales).

Hemos denominado *condiciones en los límites* o *condiciones de contorno* al conjunto de dichos flujos. La definición completa de un sistema debe cubrir, tanto el conjunto de las relaciones internas que se consideran pertinentes para el tipo de estudio de que se trata, como las condiciones de contorno (García6).

La noción de condiciones de contorno juega un papel esencial en la teoría de sistemas complejos. Sólo podemos mencionar aquí algunos resultados:

- Los sistemas naturales (abiertos) adquieren una estructura característica, cuando las condiciones de contorno se mantienen estacionarias.

- Cambios en las condiciones de contorno inducen desequilibrios internos en el sistema, el cual se reorganiza adquiriendo una estructura que es más estable frente a las nuevas condiciones de contorno.

- Modificaciones paulatinas en las condiciones de contorno no inducen, en general, modificaciones paulatinas en la estructura del sistema. La evolución de un sistema abierto tiene lugar por desestructuraciones y reestructuraciones sucesivas. De aquí que sólo un estudio diacrónico (histórico) puede proveer elementos suficientes para comprender el funcionamiento de un sistema en un momento dado.

7. DEL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS A LOS MECANISMOS DE ESTRUCTURACIÓN Y DESESTRUCTURACIÓN

El artículo de Prigogine (en Jantsch y Waddintong, 1976) comienza con el siguiente párrafo:

> Tanto la física como la química están experimentando, en el presente, un crecimiento rápido que resulta, en particular, de la integración del concepto de estructura dentro del marco de la física teórica. Además, se han dado interpretaciones más precisas de las nociones de irreversibilidad y proceso. Como resultado, ha sido posible un diálogo renovado entre los investigadores de las ciencias físicas y aquéllos interesados en las ciencias humanas.

La afirmación de Prigogine es excesivamente cauta, porque lo que ha ocurrido es mucho más que la reanudación de un diálogo, como lo prueba su propio artículo. Esta declaración de un premio Nobel de química tiene trascendencia, sin embargo, porque reconoce la reversión de una tendencia histórica. Ya no es la física quien trata de imponer sus paradigmas a las ciencias sociales, sino que son éstas las que llevan su problemática al campo de las "ciencias duras", recibiendo a su vez nuevos instrumentos de análisis que estas últimas elaboran.

Es necesario insistir, aunque ya esté dicho, que el concepto de estructura que está involucrado en estas consideraciones es un concepto dinámico que incorpora la variación y el cambio. El análisis estructural, tradicionalmente restringido al estudio de las relaciones internas entre los elementos de un sistema en un momento dado, adquiere una nueva dimensión al integrarse en el estudio de los mecanismos de organización que determinaron la formación de dicha estructura y de aquéllos que conducen a su desorganización.

La Escuela de Bruselas, dirigida por Prigogine, ha jugado un papel decisivo en la comprensión de esos procesos. Aquí también se da un notable paralelismo con los trabajos de Jean

Piaget (1975) sobre los procesos que rigen la evolución del sistema cognoscitivo. (Una comparación entre ambas teorías se encuentra en García, 2000). Es preciso introducir algunos conceptos básicos para poder hacer referencia a esas contribuciones.

Las variables, a partir de las cuales definimos el sistema con su estructura característica en un periodo de tiempo determinado, no tiene valores estáticos, sino que fluctúan permanentemente, como también fluctúan las interacciones del sistema con el medio en el cual se inserta (lo que hemos llamado *condiciones de contorno)*. Tales fluctuaciones pueden ser de dos tipos:

1) fluctuaciones de pequeña escala que inducen pequeños cambios, los cuales no llegan a alterar las relaciones fundamentales que definen la estructura del sistema;

2) fluctuaciones mayores que, cuando exceden un cierto umbral, producen una desorganización de la estructura.

En el segundo caso, la desorganización de la estructura es la consecuencia de su inestabilidad para ese tipo particular de fluctuaciones. Estabilidad e inestabilidad son, por consiguiente, propiedades de la estructura del sistema, pero relativas al tipo de fluctuaciones o perturbaciones que pueda sufrir. Otros conceptos tales como *vulnerabilidad*, *resiliencia* y *elasticidad* pueden ser definidos en términos de estabilidades y son también, por tanto, propiedades estructurales del sistema.

Hay aquí, claramente, dos tipos de problemas a considerar: la desorganización del sistema cuando las perturbaciones exceden cierto umbral, y la posterior reorganización bajo nuevas condiciones. A este respecto, la termodinámica de procesos irreversibles, con los trabajos de Prigogine y su escuela, ha demostrado la diferencia fundamental del comportamiento entre un sistema aislado y un sistema abierto. En el primer caso, la termodinámica clásica ya había demostrado que el sistema sólo puede evolucionar hacia un estado de uniformización en la distribución de energía, lo cual implica un progreso gradual de desorganización. Desde la perspectiva de la mecánica

estadística, esto significa un incremento continuo del "desorden" interno. En el estado final de equilibrio, desaparece toda estructura interna. Extendiendo este concepto a o el universo (considerado como "sistema aislado"), Lord Kelvin predijo "la muerte termodinámica del universo".

En un sistema abierto, los flujos de intercambio con el exterior (condiciones de contorno) pueden mantener al sistema lejos de esa situación de equilibrio, con una estructura en estado estacionario. Bajo ciertas condiciones, el sistema puede evolucionar pasando por procesos de sucesivas desorganizaciones y reorganizaciones con estructuras cada vez más complejas. Estas estructuras, que se forman lejos del estado de equilibrio del sistema, han sido llamadas por Prigogine "estructuras disipativas" (Glansdorff y Prigogine, 1971).

La teoría de sistemas disipativos rompió definitivamente la barrera que separaba las ciencias físicas de la biología y las ciencias sociales, construida sobre la idea de que sólo estas últimas evolucionaban hacia la formación de organismos o de sociedades con niveles crecientes de complejidad. Todo sistema abierto (y todos los sistemas naturales son abiertos) evoluciona en continua interacción con el medio externo y se auto-organiza, adoptando formas de organización con estructuras que le permiten mantenerse en un cierto equilibrio dinámico con las condiciones de contorno.

El campo de aplicación de esta teoría cubre dominios de las más diversas disciplinas (ver Prigogine, 1976, así como Nicolis y Prigogine, 1977) y ha dado lugar a extrapolaciones muy discutibles (por ejemplo, Mainzer 1994).

8. SISTEMAS COMPLEJOS Y MATEMÁTICAS

Al inicio de este trabajo hemos señalado que la revolución científica del siglo XVII se caracterizó por dos elementos fundamentales, estrechamente ligados entre sí: la primacía de las relaciones en el estudio de los fenómenos y la matematización. El triunfo de las matemáticas fue completo en el campo de las ciencias físicas, aunque su papel se fue transformando.

Galileo consideraba a la matemática como un "lenguaje" con el cual se podían expresar las leyes de la naturaleza. Los

fenómenos, estudiados por medio de la observación y de la experimentación, eran luego representados matemáticamente en un lenguaje que permitiera expresar con precisión las relaciones entre las variables que estaban en juego, y que abría la posibilidad de hacer predicciones. Esta concepción del papel de la matemática se fue modificando a medida que las teorías con las cuales se podían interpretar los fenómenos de la naturaleza se hacían más complejas. La crisis de la física a comienzos del siglo XX condujo a una drástica reformulación. En el interior del átomo, el concepto de "inteligibilidad" de los fenómenos debió revisarse. Allí, conceptos tales como "la trayectoria de una partícula" pierden sentido. En ese dominio, la física nada puede decimos sobre la naturaleza del mundo físico, fuera de las relaciones representadas por la estructura matemática de las teorías físicas. (García, 1992). No hay, pues, en este dominio, una teoría física que se *expresa* en el lenguaje matemático. La teoría es matemática.

En las ciencias sociales no hay teorías que tengan una capacidad explicativa equivalente a la que tienen las teorías físicas. Sin embargo, se han propuesto y se utilizan, particularmente en economía, modelos matemáticos que intentan explicar y aun predecir fenómenos significativos dentro de su dominio.

Esto nos lleva a reflexionar sobre los alcances y limitaciones de los modelos, un tema trascendente en la ciencia actual, imposible de tratar con un mínimo de rigor en el presente trabajo. Nos limitaremos a algunos comentarios en el contexto de nuestro tema.

8.1 PREDICTIBILIDAD

Una primera consideración, que se ha tornado ineludible en los últimos años, se refiere a la capacidad *predictiva* de los modelos. El concepto de predictibilidad ha requerido, recientemente, revisiones insospechadas. Los meteorólogos son quienes conocen mejor esta historia.

La meteorología contó, desde mediados del siglo XX, con modelos matemáticos sólidamente fundados en las ecuaciones de la hidrodinámica y la termodinámica. El surgimiento de las computadoras, cada vez más veloces y de mayor capacidad de

memoria, hizo concebir la esperanza de que los pronósticos de tiempo, cuya confiabilidad no excedía de unos pocos días (¡en el mejor de los casos!), se podrían extender a periodos progresivamente más largos. Sólo era cuestión de contar con más observaciones meteorológicas en toda la atmósfera y de poseer computadoras más poderosas.

En 1963, E. Lorenz puso fin a esa ilusión. Con un sencillo modelo matemático que permitía calcular, en una computadora relativamente rápida, trayectorias de "parcelas" de la atmósfera sujetas a condiciones dinámicas y termodinámicas muy simples, obtuvo un resultado espectacular (aunque ya había sido previsto por Poincaré en 1913). Teniendo como valores iniciales dos puntos muy próximos sus trayectorias se mantenían próximas durante cierto intervalo de tiempo, pero luego divergían. Tomando un conjunto de puntos próximos, como valores iniciales, después de un intervalo de tiempo en que se mantenían próximas, las trayectorias presentaban un aspecto caótico. Cada trayectoria respondía a ecuaciones *deterministas,* pero no era *predictible.*

Determinismo y predictibilidad aparecen por primera vez en la ciencia como conceptos diferentes. Un nuevo concepto ha surgido: "caos determinista". El sueño de Laplace es demostrablemente falso.

La dinámica del caos ha sido objeto de numerosas investigaciones y la literatura sobre el tema aumenta de manera impresionante. En particular, se han estudiado las condiciones bajo las cuales un sistema entra en una fase caótica, así como su evolución posterior *(véase,* por ejemplo, Bergé, Pomeau y Vidal8).

El valor de estos estudios para las ciencias sociales ha comenzado a ponerse de manifiesto en forma creciente. En una obra reciente, Dendrinos y Sonis (1990) se refieren a la amplia variedad de "fenómenos dinámicos" que caracterizan a los sistemas socioeconómicos. Entre ellos, aparecen fenómenos con una periodicidad regular o con oscilaciones periódicas pero no regulares, de corto o largo periodo; "pero -señalan los autores- -los fenómenos más frecuentemente observados, en sistemas socioeconómicos, son turbulencia y caos". De aquí concluyen que el estudio de modelos matemáticos, que puedan representar situaciones que evolucionen hacia la turbulencia y el caos,

"deben ser de interés para los científicos sociales". ¿En dónde reside ese interés?.

No se trata, en modo alguno, de construir modelos ("sistemas dinámicos", en la terminología utilizada en la literatura sobre el tema) capaces de ser aplicados a una situación social concreta. El objetivo es diferente, y los autores lo explicitan claramente en el prólogo:

> Se ha demostrado que los modelos dinámicos simples son un medio útil para poder discernir y tener un nuevo entendimiento de la dinámica espacial socioeconómica. Estos revelan los posibles eventos a buscar, y permiten descubrir fenómenos previamente no considerados en el comportamiento dinámico (cualitativo y a veces cuantitativo) de los sistemas sociales. Un analista puede interpretar, desde ángulos nuevos e interesantes, los incidentes socioespaciales pasados y presentes (p. 2).

La observación es importante en tanto pone de manifiesto la utilización de modelos matemáticos, *no por sus posibilidades de cuantificación efectiva de situaciones reales,* sino como instrumento que sirve para revelar posibles indicadores de situaciones no explicadas. Estos instrumentos son todavía muy rudimentarios. Los propios autores, no obstante el optimismo con el cual se refieren a las aplicaciones de su propio modelo presentado en el libro, muestran la cautela con que hay que utilizados.

> Los procesos iterativos determinísticos simples, capaces de generar fenómenos turbulentos y caóticos, son un reto para nuestra percepción de que los sistemas socioeconómicos son estables y calmados. Esos modelos dinámicos abren nuevas ventanas hacia la evolución social, ya que indican que los elementos de inestabilidad de los sistemas sociales deben ser abundantes y esperados. De hecho, uno se debe sorprender cuando los registros muestran estabilidad y calma en los eventos sociales. (p. 7)

8.2 MODELOS MATEMÁTICOS: CAPACIDAD EXPLICATIVA

En este trabajo, hemos procurado mostrar una línea evolutiva en el desarrollo de la ciencia que va, de la consideración de elementos aislados, al estudio de sus interrelaciones para culminar con su estructuración en totalidades o sistemas que se comportan como unidades funcionales.

En las ciencias sociales, como en biología y aun en dominios de la física, las formas de organización de esos sistemas y su evolución en el tiempo están determinadas en gran medida por sus intercambios con el medio en que están inmersos. Se trata de sistemas heterogéneo s abiertos (que hemos llamado *sistemas complejos)* cuyo estudio requiere una combinación de análisis sincrónicos y diacrónicos: los primeros para determinar las propiedades estructurales del sistema en un período dado de tiempo, y los segundos para identificar los procesos que condujeron a esa forma particular de organización.

Ya hemos señalado que ningún modelo de insumo/producto (modelo de flujos) es capaz de representar un sistema complejo del tipo que hemos descrito en este trabajo y dar cuenta de la doble componente sincrónica y diacrónica necesaria para su análisis. Sí es posible, sin embargo, modelar procesos parciales. Las estimaciones cuantitativas que se obtengan pueden ser de gran valor indicativo del comportamiento de un sector bajo condiciones especificadas. No obstante, estos resultados sólo son significativos cuando se los interpreta dentro del contexto del análisis sistémico global, que es, necesariamente, de carácter cualitativo.

Un ejemplo que ha dado resultados sorprendentes ha sido el modelo desarrollado por Guy Duval para el estudio retrospectivo de los

estados nutricionales de grupos sociales en el contexto de un análisis sistémico de sistemas agrarios en períodos de crisis. Las bases del modelo están expuestas en Duval (1986) y considerablemente desarrolladas posteriormente por dicho autor (véase el Anexo de García *et aI8).*

Los modelos parciales constituyen un instrumento valioso de análisis cuando se les utiliza en el llamado "método de simulación".

El gran valor de los modelos matemáticos reside, sin embargo, en su utilización para representar situaciones que ponen de manifiesto los mecanismos que rigen procesos característicos de los sistemas reales. Ese es el sentido de los comentarios de Dendrinos y Sonis citados en la sección precedente.

Los modelos matemáticos adquieren así capacidad explicativa. Las numerosas "aplicaciones" de los sistemas disipativos a las ciencias sociales, desarrolladas por la Escuela de Bruselas, tienen esa interpretación. El análisis de los resultados de los modelos matemáticos es, en este contexto, puramente cualitativo, pero no menos valioso que los resultados de los mejores modelos numéricos.

CAPÍTULO V

Planeación, acción y evaluación de proyectos alternativos de desarrollo

1. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

1.1 DEFINICIÓN DE UN SISTEMA COMPLEJO

Los proyectos de desarrollo en regiones agrícolas deben tomar en cuenta una multiplicidad de problemas que involucran al entorno físico y biológico, la producción, la tecnología, la sociedad, la economía. Esta variedad de procesos constituyen *un complejo* que funciona como *una totalidad organizada.*

La "complejidad" no está determinada aquí sólo por la heterogeneidad de las partes constituyentes, sino, sobre todo, por la *interdefinibilidad* y mutua dependencia de las *funciones* que desempeñan dentro de una totalidad.

Un complejo agrario rara vez cuenta con límites geográficos precisos y con un número de componentes bien definido. Las características de sus elementos, además, difícilmente pueden ser registradas y clasificadas de una forma inequívoca. Lo que caracteriza un complejo es un comportamiento particular, es decir, un número determinado de actividades que, juntas, conforman *el funcionamiento* de la "totalidad". Las actividades del complejo (la producción de cultivos particulares, la importación de elementos para la producción, el consumo de agua y nutrientes del suelo, el trabajo de los campesinos, migraciones, entradas económicas -créditos- comercio, etcétera) se interrelacionan de manera tal que el conjunto funciona como una *totalidad organizada*.

1.2 DATOS, OBSERVABLES Y PROCESOS

Cuando estudiamos una situación compleja (por ejemplo, un complejo agrario) no podemos analizar "todos" sus elementos. No sólo se trata de la imposibilidad material (¿qué significa "todos" ?), sino también de una cuestión práctica. No examinamos cada metro cuadrado de suelo, ni la profundidad total del suelo, ni a cada miembro individual de la población, ni cada una de las actividades que allí tienen lugar. Sin embargo, es inevitable que cada estudio establezca relaciones entre un número limitado de *elementos abstraídos de la realidad,* y toda abstracción implica tomar en cuenta sólo ciertos aspectos de la experiencia. Cuando un elemento es abstraído es porque ya ha sido *interpretado.*

Un ejemplo puede clarificar este punto. Cuando vamos a una comunidad agrícola, por ejemplo, no "vemos" *campesinos,* sino *individuos* con ciertas características personales. El hecho de que registremos "campesinos" es el resultado de una elaboración conceptual que concierne, tanto a las actividades productivas de esos individuos, como a las relaciones con la producción de la sociedad a la cual pertenecen. Por supuesto que, en la práctica, la experiencia adquirida nos permite identificar a los individuos que vemos como campesinos. El *individuo* es un *dato* de la experiencia. El *campesino* es un *observable,* que es una interpretación (conceptualización) del dato.

Del mismo modo, un sociólogo puede entrar a un pueblo y decir que él "ve" diferentes "clases sociales". De hecho, lo que él ve (el *dato empírico)* -para dar un crudo ejemplo- es gente descalza vestida con harapos, otros que manejan pequeños vehículos modestos y otros con carros de lujo con chofer, etc. Sobre la base de estos *datos* el sociólogo *construye* las clases sociales como *observables.*

El problema se vuelve más complicado cuando pasamos de la identificación de los elementos abstraídos del complejo agrario (es decir, de los *observables* producto de conceptualizaciones), a intentar comprender los procesos que ahí tienen lugar.

Un proceso es un cambio o una serie de cambios que constituye el curso de acción de relaciones causales entre

eventos. Estos procesos no son *datos* empíricamente dados ni son *observables* construidos a partir de la interpretación de datos. Son relaciones establecidas sobre la base de *inferencias*.

Algunas inferencias constituyen generalizaciones inductivas, que provienen, o de experiencias previas en situaciones encontradas en proyectos anteriores, o de la experiencia profesional. Sin embargo, no se puede considerar automáticamente una situación específica como un caso particular dentro de una clase general de situaciones. Por ejemplo, procesos similares que tienen lugar en contextos diferentes pueden no desempeñar funciones similares.

Los vínculos entre eventos que caracterizan a cada uno de los procesos que tienen lugar en un complejo, no son "observados"; son inferidos por deducción lógica a partir de ciertas premisas provistas por el marco conceptual del investigador. En otras palabras, el conjunto de relaciones causales entre los eventos en un complejo constituye una *construcción*, en la cual las conceptualizaciones del investigador juegan un rol tan importante como los "hechos objetivos".

1.3 LA CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA

Las distinciones establecidas entre datos, observables y procesos nos conducen a plantear un problema más general, común a todas las *me*todologías de trabajo empírico: la relación entre los datos empíricos y las conceptualizaciones hechas por el investigador.

Con la expresión *complejo agrario*, hemos designado un conjunto de elementos interrelacionados a través de una serie de actividades centradas en la producción agrícola. Con esta formulación, el complejo agrario esta referido a una realidad empírica. Sin embargo, como hemos señalado, los *elementos* que son "abstraídos" de este complejo empírico para ser utilizados por el investigador, corresponden a conceptualizaciones de los datos empíricos. Del mismo modo, las relaciones causales y los procesos que intervienen en el análisis, son *inferencias* hechas sobre la base del material empírico. El investigador construye un *sistema* con estos elementos conceptualizados, y con esas relaciones y procesos

inferidos. Estrictamente hablando, un *sistema* es entonces una *construcción* producida por el investigador para representar a los actores principales y a las actividades más significativas de un determinado complejo empírico. En este trabajo utilizaremos la expresión *sistema complejo* para referimos tanto al complejo empírico como al sistema construido. Cuando sea necesario establecer la distinción, vamos a usar los términos sistema-E y sistema-C ("E" y "C" designan "empírico" y "construido" respectivamente). Construir un sistema (sistema-C) significa seleccionar los elementos que van a ser abstraídos del complejo empírico (sistemaE) e identificar un cierto número de relaciones entre ese conjunto de elementos. El conjunto de las relaciones constituye la *estructura* del sistema.

Los mismos elementos pueden ser usados para definir sistemas diferentes. En cada caso, se tomarán en cuenta diferentes conjuntos de relaciones entre los elementos. Cada sistema-C que resulte contará, entonces, con una estructura particular. La selección dependerá de los objetivos de la investigación y estará determinada por *preguntas* específicas. Este es un punto excepcionalmente importante y debemos ver más de cerca sus implicaciones.

Todas las teorías científicas, cualquiera que sea su grado de formalización o nivel explicativo, se han desarrollado históricamente como un intento para explicar cierto dominio de fenómenos, y como una respuesta a preguntas específicas sobre esos fenómenos. Las revoluciones científicas y las nuevas teorías que emergen de ellas, no fueron producidas por aquellos que encontraron nuevas respuestas a viejas preguntas, sino por aquellos que pudieron formular nuevas preguntas con respecto a viejos problemas. Damos el nombre *marco epistémico* al conjunto de preguntas (o interrogaciones no siempre formuladas como preguntas precisas) que el investigador plantea cuando se enfrenta con un dominio de la realidad que se propone estudiar.

El marco epistémico representa cierta concepción del mundo y, en muchas ocasiones, expresa -aunque de un modo vago e implícito-la "tabla de valores" del investigador.

Por ejemplo, un proyecto de investigación diseñado para replicar a pregunta" ¿Cómo podemos incrementar la

productividad de cultivos de alimentación básica en la región X?" será muy diferente que uno diseñado para responder a la pregunta" ¿Por qué la desnutrición de los pobres se incrementa en este país?". Los problemas que conciernen a la productividad y a la autosuficiencia alimentaria se plantean en ambos casos, pero desde perspectivas diferentes. Además de las diferencias en el diseño de investigación, determinadas por el tipo de preguntas que se planteen como punto de partida del proyecto, las concepciones del investigador pueden dar lugar a diferentes diseños. Por ejemplo, en el caso de la segunda de las preguntas de investigación antes planteadas, si el investigador en cuestión está convencido de que la desnutrición es una consecuencia del desequilibrio de la población y del crecimiento demográfico, buscará -y sin duda encontrará- información que confirme su "teoría". El diseño de la investigación será muy diferente para un investigador que conciba la desnutrición como el resultado de problemas estructurales que comprenden, tanto a la producción, como al conjunto de relaciones sociales, económicas y políticas interrelacionadas con ella. Los observables registrados, y la cadena de inferencias que los relacione, serán muy diferentes en ambos casos.

Las hipótesis de trabajo con las cuales comienza un enfoque sistémico pueden, por tanto, ser resumidas en la siguiente proposición: dado un complejo agrario específico y un conjunto de preguntas referidas a él, un sistema puede ser definido en términos de un conjunto de elementos y de interacciones entre ellos. La estructura, que corresponde al funcionamiento del complejo, proporcionará las bases de una explicación que responda las preguntas iniciales de investigación.

2. ANÁLISIS DE UN SISTEMA COMPLEJO

Nuestra propuesta metodológica está basada en un análisis sistémico. A pesar de la aparente claridad de tal juicio sintético, es posible que se preste a confusiones puesto que contiene dos

expresiones altamente equívocas: "metodología" y "análisis sistémico".

Si por "metodología" entendemos una serie de procedimientos que permiten conducir una tarea exitosamente, nuestra propuesta va más allá de esta definición: se trata de una forma de proceder en la investigación derivada de una teoría -la teoría de sistemas complejos- y de un marco conceptual fundamentado epistemológicamente.

Por otro lado, las expresiones "sistema complejo" y "análisis de sistemas complejos" que vamos a usar, difieren conceptual y metodológicamente de parientes cercanos y distantes utilizados en Ingeniería y Economía.

Las diferentes versiones de "sistema" y los diferentes modos de aproximarse al "análisis sistémico", que van desde los modelos de *input-output* de los ingenieros y de los economistas, a la teoría de los sistemas disipativos y las ecuaciones dinámicas de modelos constructores, no han logrado un consenso respecto a cómo abordar los problemas de las interacciones entre el entorno y la sociedad desde un punto de vista sistémico. La falta de consenso se debe, posiblemente, al carácter fragmentario de los resultados obtenidos.

Nuestra propuesta para el estudio de situaciones complejas en las que la sociedad juega un rol fundamental, ha sido desarrollada a partir de numerosos "estudios de caso" que han puesto en evidencia el potencial de nuestro enfoque.

La producción agrícola es el nexo que articula el entorno físico (que provee los nutrientes para el desarrollo de biomasa) y la sociedad (que provee los medios de producción y depende, directa e indirectamente, de lo que se produce). En esta articulación -en la cual la tecnología de producción, en el más amplio sentido del término, juega un papel predominante-

ocurren procesos de deterioro sobre los cuales intervienen los proyectos de asistencia técnica.

La experiencia acumulada muestra que la degradación creciente de los ecosistemas, la desnutrición que afecta a cientos de millones de seres humanos, y, en general, el deterioro de las condiciones de vida, están íntimamente relacionados entre sí, y que no pueden ser explicados por una simple cadena lineal de eventos. Se trata de problemas estructurales de los sistemas complejos compuestos por un *subsistema físico* (suelo, agua, clima, ecología natural), un *subsistema productivo* (cultivos, métodos de producción, *inputs* tecnológicos) y un *subsistema socioeconómico* (grupos sociales, condicionantes económicos, factores políticos).

La heterogeneidad de los fenómenos y de los componentes de tales sistemas no son suficientes -como ya hemos señalado- para definido como "complejo".

Dos condiciones dan al sistema el carácter de complejo:

1) las *funciones* de los elementos (subsistemas) del sistema no son independientes; esto determina la *interdefinibilidad* de los componentes;

2) el sistema como totalidad es *abierto,* es decir, carece de fronteras rígidas; está inmerso en una realidad más amplia con la cual interactúa por medio de *flujos* de materia, energía, recursos económicos, políticas regionales, nacionales, etc.

2.1 INTERDEFINIBILIDAD E INTERDEPENDENCIA DE LOS SUBSISTEMAS

Los órganos de un ser vivo tienen cierta estructura que les permite satisfacer una función específica dentro de un "sistema

total" que es el organismo. Sin embargo, la misma función puede ser satisfecha por órganos de diferentes estructuras. Un pez y un mono tienen, ambos, aparatos respiratorios. Sus funciones son las mismas: extraer oxígeno del medio circundante (agua o aire, respectivamente). Pero la estructura del aparato respiratorio de cada uno es diferente: el mono no tiene, por ejemplo, las branquias de un pez.

La función está siempre ligada a una actividad en particular que, junto con otras funciones y otros órganos (subsistemas), participa en la actividad general del sistema total, es decir, en *el funcionamiento* del sistema.

Es claro que el funcionamiento de un organismo no es una función simple de sus órganos tomados de manera aislada, y que no es posible establecer relaciones lineales de causa-efecto entre las funciones de los órganos y el funcionamiento del organismo. Por el contrario, no sólo los órganos son interdependientes en sus funciones, sino que, además, el funcionamiento total puede incluir, estimular o modificar cualquiera de las funciones de un órgano en particular.

Los conceptos anteriores, aplicados a un sistema agrario, nos permiten visualizar cada "estudio de caso" como un análisis del funcionamiento de un sistema complejo cuyas partes *(subsistemas)* desempeñan ciertas funciones gracias al hecho de que poseen cierto tipo de organización (esto es la *estructura del subsistema* la cual es una *subestructura* de la estructura total).

Esta organización no es única: como dijimos antes, la misma función puede ser satisfecha por diferentes estructuras, y ninguna función es independiente del resto de las funciones desempeñadas por otras partes del sistema.

Dada la importancia que le acordamos a las estructuras y a las propiedades estructurales, es necesario que nos divorciemos de la controversia sobre el estructuralismo que persiste entre los científicos sociales.

La teoría de los sistemas complejos no defiende la existencia de estructuras estáticas (estructuralismo sincrónico) puesto que subraya la importancia de los procesos de estructuración. La estructura es simplemente el conjunto de relaciones que caracteriza al sistema como una totalidad organizada en un momento dado. El objetivo del análisis estructural es, por tanto, dar cuenta de los vínculos y de las interacciones entre los

elementos que conforman un sistema.

El tipo de vínculos depende de la naturaleza del sistema y del "momento" de su evolución. Algunos pueden ser muy estrechos y sólidos, otros débiles; algunos pueden relacionar elementos que son mutuamente dependientes y que *conjuntamente* desempeñan una *función* determinada; otros pueden ser indicativos de la coexistencia de funciones que son independientes una de otra, pero que contribuyen al funcionamiento del sistema como una totalidad interconectada. Es claro que el conjunto de relaciones de cada elemento (o subsistema) con los otros, depende de su organización interna, la cual, a su vez, es el resultado de la evolución de procesos internos a través del tiempo. Por tanto, debe hacerse una distinción cuidadosa entre dos niveles de descripción:

a) el análisis de los procesos que ocurren dentro de cada elemento (subsistema) y que determinan la clase de relaciones que establecen con el resto del sistema;

b) el análisis de los procesos que tienen lugar en el sistema como un todo, y que están determinados por las interrelaciones entre los subsistemas.

El hecho de que los procesos en los niveles *a* y *b* sean interdependientes no significa que todo debe ser estudiado simultáneamente. Muy por el contrario, tan pronto como podemos identificar un subsistema dentro de un sistema, significa que sus partes constitutivas tienen coherencia suficiente, al menos durante un período dado de tiempo, como para ser tomado en cuenta como una unidad de análisis. Esto significa que hemos considerado que los vínculos dentro del subsistema son de una naturaleza diferente al de otros subsistemas.

2.2 LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS ABIERTOS

La evolución de un sistema abierto no constituye un proceso continuo o lineal. Procede por una sucesión de reorganizaciones,

cada una de las cuales conduce a un período de relativo equilibrio dinámico durante el cual el sistema mantiene una estructura que fluctúa dentro de ciertos límites. El hecho de que este tipo de evolución haya sido probada en experiencias de laboratorio con sistemas físico-químicos y fisiológicos, ha contribuido a que muchos científicos sociales rechacen la idea de que la teoría es aplicable en sus dominios. En efecto, la terminología en la cual se expresa, que tiene algo de "sabor" fisicalista, sugiere reduccionismo. Sin embargo, recordemos que Marx, en la economía política (la evolución de los modos de producción) y Piaget, en psicología (las "etapas" en el desarrollo psicogenético de los conceptos empleados por el niño y el adolescente), descubrieron la evolución discontinua y no-lineal de los respectivos sistemas que estudiaron mucho antes de las actuales teorías que se originaron hace cincuenta años. Dado que el grado de generalización de esas teorías ha empezado a ser reconocido recientemente, es necesario insistir en su relevancia e importancia para el estudio de los sistemas complejos.

Las variables sobre las cuales definimos el sistema, con su estructura característica durante un período de tiempo dado, no tienen valores estáticos: fluctúan permanentemente del mismo modo en que las interacciones del sistema fluctúan con lo que hemos dejado "fuera de sus límites". Esas fluctuaciones pueden ser de dos tipos:

1) fluctuaciones a pequeña escala que provocan pequeños cambios que no alteran las relaciones fundamentales que definen la estructura del sistema;

2) fluctuaciones más amplias que, cuando exceden cierto límite, producen una disrupción en la estructura.

En el segundo caso, la disrupción de la estructura es consecuencia de su inestabilidad. Estabilidad e inestabilidad son, por tanto, propiedades de la estructura del sistema, y son relativas al tipo de fluctuación o perturbación que pueda sufrir. Otros conceptos tales como *vulnerabilidad*,

resiliencia y *elasticidad* pueden ser definidos en términos de estabilidades y son, por tanto, propiedades estructurales del sistema.

3. EL DISEÑO DE PROYECTOS DE DESARROLLO DESDE UNA PERSPECTIVA SISTÉMICA

Gobiernos, organizaciones internacionales y agencias "de ayuda" de todos tipos, convocadas para proveer soluciones ante condiciones críticas que afecten cualquier parte del mundo, se hallan generalmente dispuestas a "actuar" tan pronto como los medios estén disponibles. Un médico se encuentra muy a menudo en situaciones similares. Hay casos en los cuales los síntomas son tan claros que no existe duda sobre el tipo de intervención necesaria. Pero incluso en aquellos en los que la situación *prima facie* no permite establecer un diagnóstico inmediato, es necesario tomar algunas medidas de emergencia (aliviar el dolor, por ejemplo). Fuera de estas medidas urgentes, un buen médico no prescribe ningún tratamiento antes de contar con suficientes elementos de diagnóstico. Sólo una vez que se obtiene un diagnóstico satisfactorio, se puede proceder de manera certera. "Satisfactorio" no es sinónimo de "libre de incertidumbres". Tampoco significa que análisis posteriores no vayan a revelarse necesarios en el curso del tratamiento. En este sentido, el modo de actuar en medicina es aplicable, *mutatis mutandis*, a los problemas del desarrollo en el dominio agrario. En ambos casos, diagnóstico, acción (tratamiento) y evaluación, necesitan interactuar continuamente.

Es claro que el modo de operación de las organizaciones internacionales empuja hacia la aplicación directa de acciones inmediatas y que el planificador debe encontrar soluciones reales, lo más rápidamente posibles para satisfacer estas exigencias. Sin embargo, los proyectos que se realizan

en estas circunstancias suelen presentar los siguientes problemas:

- En primer lugar y como regla general, las tres fases mencionadas -diagnóstico, acción y evaluación- suelen ser realizadas por diferentes equipos que rara vez tienen la posibilidad (¡más allá del deseo!) de interactuar entre sí.

- En segundo lugar, los diseñadores del proyecto concentran su atención en las acciones que van a proponer, considerando como evidente la factibilidad y la suficiencia de la información disponible, lo que significa que no hay una *fase de diagnóstico* real.

- En tercer lugar, tanto el plan de acción como las evaluaciones, están a menudo enfocados-al logro de objetivos específicos que son analizados de manera aislada (es decir, sin tomar en cuenta las implicaciones para otros sectores del sistema).

En este contexto, el diagnóstico de los problemas involucrados en el sistema agrario de una región o comunidad determinada, la planeación e implementación de reformas necesarias para modificar condiciones existentes y los pronósticos de la evolución del sistema, parecieran tener objetivos muy diferentes y requerir cada uno diferentes metodologías. De hecho, esto es lo que ocurre en la mayor parte de los proyectos de desarrollo donde la conexión a posteriori del diseño y la ejecución suele ser problemática.

Desde la perspectiva de análisis de los sistemas complejos, sin embargo, dicha separación no opera. Resumamos los argumentos.

- Los estudios de diagnóstico están dirigidos a la identificación de *procesos* y *mecanismos* que, a su vez, están integrados en una cadena de eventos que ocurren a lo largo de un período de tiempo. El diagnóstico requiere una reconstrucción de la historia del sistema porque sólo a través de esta historia es posible interpretar lo que sucede actualmente.

- Por otra parte, el estudio de una nueva propuesta regional tiene carácter prospectivo. Está enfocado en la predictibilidad de la evolución de un *nuevo sistema* -el cual es una modificación del actual- que resultaría luego de la puesta en marcha de las medidas propuestas. Esto requiere de la identificación de los *procesos que se pondrán en movimiento* cuando los cambios sean introducidos. Y esto sólo puede realizarse sobre la base del tipo de diagnóstico arriba indicado.

- El pasaje de un diagnóstico al estudio de políticas regionales capaces de modificar la situación actual de un sistema no es lineal. Nuevas estrategias productivas, por ejemplo, pueden incidir en partes del sistema que no fueron (o no suficientemente) analizadas en el diagnóstico, en tanto que éstas no tienen un papel en los procesos que actúan en el sistema productivo contemporáneo. Es necesario entonces regresar repetidamente a la fase de diagnóstico para poder estudiar aspectos no incluidos previamente.

Resumiendo: diagnóstico, planeación del cambio, pronósticos de posibles implicaciones para el sistema y verificación de los resultados de la puesta en operación de los planes, forman parte de un juego dialéctico de actividades.

4. DIAGNÓSTICO

La decisión de enfrentar el estudio de un complejo agrario determinado generalmente surge del reconocimiento de situaciones o fenómenos que, en esa ubicación geográfica particular, han generado, o están generando, procesos de deterioro en el entorno físico que es el soporte de la producción y de las condiciones de vida de la población involucrada.

Ningún proyecto de investigación comienza de cero. En general, existen conocimientos suficientes sobre esos fenómenos o situaciones como para formular preguntas generales que establezcan el punto de partida de la investigación y el comienzo del largo camino que conducirá a la definición del *sistema* a ser estudiado.

De hecho, una parte fundamental del proceso de investigación es la construcción (conceptualización) del sistema (sistema-C), a partir de un recorte más o menos arbitrario de la realidad, es decir, a partir de una problemática cuyos límites no están bien definidos.

La construcción del sistema no es más que la construcción de modelos sucesivos que representan la realidad a ser estudiada. Esto implica un proceso laborioso de aproximaciones sucesivas. La definición provisional satisfactoria del sistema (como un modelo de la realidad bajo estudio) será puesta a prueba por su capacidad para explicar el funcionamiento que se ajuste a los hechos observados.

Un modelo que represente una descripción clara del sistema en el momento o en el período en que el estudio se lleva a cabo no es suficiente. Los estudios históricos son herramientas indispensables en el análisis sistémico. No es cuestión de reconstruir la historia completa de la región estudiada, sino de reconstruir la evolución de los procesos principales que determinan el funcionamiento del sistema. La relación entre *función* y *estructura* (que es paralela a la relación entre *procesos* y *estados)* es la clave para entender el fenómeno.

Hemos señalado que un sistema no es sólo un conjunto de elementos, sino que está caracterizado por su estructura. Por tanto, un sistema estará definido solamente cuando un número suficiente de relaciones ligadas entre sí con referencia al funcionamiento del conjunto como una totalidad, han sido identificadas. En esta conexión debemos recordar que con los mismos elementos podemos definir diferentes sistemas, que la selección depende de los objetivos de la investigación y que estará determinada por las preguntas específicas formuladas acerca del tipo de situaciones que van a ser estudiadas (en este caso, situaciones características del entorno físico, del sistema productivo y del sistema socio económico, consideradas como *elementos* o *subsistemas* del sistema agrario).

Queda claro, entonces, que existe una distancia considerable entre las preguntas iniciales que describen los vínculos y las relaciones causales que definen la estructura del sistema. El camino entre ambos no es obvio. Y sin embargo, la definición de-un sistema, una vez establecida su estructura, todavía no estará completa. Es necesario, entonces considerar otros elementos que nos permitirán seguir adelante.

4.1 NIVELES DE PROCESOS Y NIVELES DE ANÁLISIS

El funcionamiento de un complejo agrario está determinado no sólo por las diversas actividades que se llevan a cabo dentro del territorio del complejo, sino también por los procesos externos que generan, condicionan y modifican, parcial o totalmente, esas actividades. Lo que se cultiva, cómo se cultiva, quién lo cultiva y cuándo ocurren cambios en los cultivos, depende de decisiones adoptadas en diferentes esferas y gobernadas por una gran diversidad de mecanismos.

Todos esos procesos difieren en su génesis, en su dinámica y en su modo de operación, pero pueden ser agrupados en un número limitado de niveles, cada uno de los cuales requiere un estudio especial que llamaremos *nivel de análisis.*

El nivel de análisis está determinado por el *nivel de procesos.* En estudios anteriores sobre sistemas rurales encontramos útil distinguir tres niveles, que pueden ser descritos de la siguiente manera:

1) *Los procesos de primer nivel* son cambios que afectan el entorno físico, las relaciones socio-económicas de la población en el área y sus condiciones de vida. En general están asociados con modificaciones introducidas dentro del sistema productivo de la región.

2) *Los procesos de segundo nivelo* metaprocesos son cambios introducidos dentro del sistema productivo (tales como la introducción de cultivos comerciales, la industrialización o la emergencia

de ciertos polos de desarrollo) y que generan cambios significativos en los procesos de primer nivel.

3) *Los procesos de tercer nivel* son cambios en las políticas de desarrollo nacional, en el comercio internacional, los flujos de capital, etc., que generan cambios en los procesos de segundo nivel.

Tomemos un ejemplo simple: un proceso de primer nivel, tal como la salinización del suelo, puede ser producido por un metaproceso o proceso de segundo nivel que consiste en la introducción de un cultivo comercial con un paquete tecnológico que conduce a la sobreexplotación de los recursos acuíferos. A su vez, la introducción del cultivo comercial puede ser inducida por procesos del tercer nivel, tales como cambios en las políticas del comercio exterior del país o como consecuencia de modificaciones en el mercado internacional.

Los tres niveles de procesos requieren de diferentes tipos de análisis. Cada uno tiene su propia dinámica y requiere de la consideración de datos que pertenecen a muy diferentes escalas de fenómenos. Más aún, procesos que pertenecen a un nivel superior actúan, en general, como *condiciones de contorno* para los sistemas de procesos en un nivel inferior.

Las implicaciones de estas consideraciones serán desarrolladas más adelante. Aquí, sólo subrayaremos una consecuencia importante de esas distinciones para el análisis del funcionamiento de un sistema.

Dos sistemas de primer nivel, que tienen diferentes estructuras, pueden tener *diferentes mecanismos* que conducen a *funcionamientos similares.* Por ejemplo: hay una variedad de mecanismos que conducen a la salinización del suelo; hay diferentes formas de organización social para enfrentar los mismos problemas de producción. Por otro lado, *mecanismos similares* que actúan en el segundo o tercer nivel pueden inducir *funcionamientos diferentes* en el primer nivel. Por ejemplo: el mismo paquete tecnológico puede inducir procesos muy diferentes en dos eco sistemas diferentes; las mismas políticas de expansión

de la frontera agrícola pueden producir efectos muy diferentes en dos socio-ecosistemas diferentes.

4.2 CONDICIONES DE CONTORNO Y EVOLUCIÓN DE SISTEMAS COMPLEJOS

Los socio-ecosistemas no existen en el vacío. El *funcionamiento* de cualquiera de tales sistemas complejos está determinado por actividades que interactúan con otras actividades o con otros sistemas. Las interacciones determinan flujos de muy diversos tipos, dentro y fuera del sistema: energía, materia, créditos, gente, políticas. Estos son parte de lo que llamamos "las condiciones de contorno del sistema".

Tampoco un sistema complejo es invariable a lo largo del tiempo.

Todo sistema tiene una historia y está en constante evolución. Los puntos críticos en el desarrollo histórico de un sistema ocurren cuando hay un desarreglo funcional que genera una disrupción de su estructura. Que el sistema alcance o no un punto crítico depende, en mucho, de sus propiedades estructurales.

Vulnerabilidad es aquí la propiedad clave, y está mayormente determinada por la combinación de dos factores: el tipo de relaciones entre los elementos del sistema (es decir, el tipo de relaciones que *define* la estructura del sistema), y los mecanismos homeostáticos que previenen disrupciones en el conjunto de las relaciones que están bajo la influencia de perturbaciones.

La "recuperación" de un sistema, una vez que termina la crisis, depende del modo en que la crisis ha sido superada. El sistema puede encontrarse bajo la influencia de nuevas condiciones de contorno, o podría haber sufrido algunas modificaciones internas drásticas. Una vez que se estabiliza un nuevo conjunto de relaciones, el sistema adquiere una nueva estructura.

Los cambios en el funcionamiento del sistema no se producen como resultado de una relación lineal de causa-efecto. Los cambios en la actividad del sistema total determinan

reacomodos en los elementos (subsistemas) que finalmente conducen a cambios en la estructura resultante. Estos mecanismos de modificaciones estructurales, basados en el funcionamiento del sistema total, traducen, en esencia, lo que lo biólogos expresan en el antiguo dicho: "la función crea el órgano". Sin embargo, la función no "crea" el órgano *ex nihilo*, ni es la "totalidad" una entelequia que actúa mágica mente sobre los elementos. No vamos a profundizar en la forma en la cual un sistema complejo se reorganiza cuando sus condiciones de contorno se modifican o cuando las fluctuaciones internas y los cambios exceden un cierto límite. Solamente insistiremos en dos puntos fundamentales:

1) El estudio del *estado* del sistema en un momento dado, no explica los procesos que tienen lugar en su evolución. Sin embargo, el análisis de las propiedades estructurales del sistema, tales como *vulnerabilidad* o *resiliencia, fragilidad* o *resistencia,* permiten formular una explicación de la puesta en marcha de ciertos procesos y de la clase de reacciones a ser esperadas cuando el sistema está sujeto a la acción de factores externos o modificaciones internas.

2) El conocimiento de las interacciones entre el "todo" y las "partes" (es decir, entre el funcionamiento del sistema y las funciones de sus subsistemas) es fundamental, no sólo por el entendimiento del comportamiento de un sistema complejo. Además de ser una herramienta de diagnóstico, es un elemento fundamental a ser considerado en los análisis de las posibles acciones para mantener, restaurar o modificar el sistema.

En este sentido, es necesario distinguir un espectro completo de casos posibles. En un extremo encontramos "sistemas naturales" como procesos geológicos o evolución biológica, los cuales tienden a operar a muy largo plazo. En el otro, hay sistemas sujetos a decisiones políticas y económicas que pueden ser modificados a corto plazo.

Consideraciones similares son válidas para las escalas espaciales de los procesos. En un sistema complejo se pueden tener subsistemas de muy diferente naturaleza; y el análisis de sus interacciones, cuando las escalas son muy diferentes, puede resultar muy difícil. Sin embargo, en algunos sistemas el problema puede ser considerablemente simplificado. Por ejemplo: en la atmósfera encontramos todas las escalas de movimiento, pero la: energía está concentrada en pocas de ellas, y este hecho ha ocasionado la separación de escalas con sus dinámicas propias. Esto ha contribuido considerablemente al entendimiento de la circulación general de la atmósfera sobre la base de las interacciones entre pocas escalas de movimiento.

Las condiciones de contorno del sistema imponen severas restricciones sobre las posibles estructuras que ese sistema puede tener. Eso significa que la posibilidad de poner en acción ciertas soluciones a los problemas del sistema está condicionada por la posibilidad de alterar las condiciones de contorno. Los problemas pueden encontrarse no *en* el sistema, sino *fuera* del sistema.

Dos situaciones extremas pueden presentarse con un gran número de casos intermedios:

a) Una situación en donde las condiciones de contorno son muy rígidas, generalmente como resultado de procesos de niveles superiores. En este caso, políticas alternativas que son técnica, social y económicamente factibles, pueden no adoptarse porque la introducción de los cambios necesarios en las condiciones de contorno está fuera del alcance, o más allá de la *voluntad* de aquellos que tienen el poder para decidir.

b) Una situación donde las condiciones de contorno son muy poco rígidas. Aquí puede ser posible explorar condiciones que podrían conducir a diferentes reorganizaciones del sistema. Una evaluación de las implicaciones sociales, económicas y políticas, así como también de las implicaciones para el entorno, puede mostrar que la "mejor" solución no es la más "eficiente" desde un punto de vista puramente técnico.

Las interacciones entre las condiciones de contorno y los elementos internos pueden ser muy indirectas. Cambios en la estructura del sistema pueden ser generados por factores externos (procesos de niveles más altos), o bien por procesos internos de primer nivel. Sin embargo, los cambios estructurales significativos se dan, como una regla, a través de los cambios en los flujos del contorno. Un ejemplo tomado de un estudio de caso hecho en el estado de Tabasco (México) ilustra este punto.

En las etapas tempranas de la investigación, las actividades basadas en el petróleo fueron concebidas como una fuente externa de perturbaciones con respecto al sistema local. Al avanzar la investigación se puso en evidencia que, después de que comenzó el auge petrolero, el funcionamiento del sistema no podía ser explicado a menos que la industria del petróleo fuera considerada como un elemento interno al sistema.

El sistema, que se había vuelto frágil y vulnerable como resultado del deterioro progresivo de sus componentes ambientales y de los procesos que crecientemente afectaron las condiciones de vida de los campesinos, fue incapaz de absorber, sin cambios estructurales, la expansión repentina de las actividades relacionadas con el petróleo. Esta desestabilización no podía ser entendida como el resultado de la acción de un factor externo que afectaba al sistema desde afuera, des-estructurándolo y luego retirándose. Cambios específicos en las condiciones de contorno elevaron el crecimiento descontrolado de algunos de los elementos internos del sistema, los cuales comenzaron a interactuar con el resto de los elementos de diferente modo, hasta que ocurrió un cambio estructural en la totalidad del sistema. El impacto más obvio de la expansión petrolera -incluyendo contaminación y otras alteraciones localizadas en el medio ambiente y en la generación de empleos directos- no puede explicar los cambios generales sufridos por el sistema. Esto último solamente puede ser tratado por medio de un *análisis estructural* que tenga en cuenta los efectos indirectos que resultan de la mediación de los elementos económicos.

5. DISEÑO DEL PROYECTO

Desde la perspectiva del marco conceptual y metodológico que hemos esbozado, los proyectos que están incluidos en los programas de desarrollo agrícola deben ser expresados en términos de un sistema integrado en el cual un medio ambiente físico, que ha alcanzado un alto grado de fragilidad, interactúa con una organización socio económica inestable. La formulación de una propuesta para una vía alternativa de desarrollo regional debe estar orientada hacia la introducción de cambios necesarios para superar la situación actual de vulnerabilidad en un período de tiempo relativamente corto. La propuesta debería satisfacer dos criterios indispensables:

1) En primer lugar, debería intentar detener y, donde sea posible, revertir las tendencias que han significado el deterioro progresivo del sistema socio-ambiental.

2) Debería, en segundo lugar, ser capaz de reorientar el sistema productivo para conducirlo a un desarrollo sustentable.

El concepto de "desarrollo sustentable" no sólo debe ser entendido en términos de productividad y conservación ambiental de la biosfera. Debería también requerir -como condición *sine qua non*- que la actividad económica en la zona permita elevar el nivel de vida de la gente involucrada en el proceso productivo de la región.

Una propuesta de desarrollo regional que satisfaga esas condiciones debe basarse en estudios diagnósticos. Debemos enfatizar el hecho de que un diagnóstico no consiste en una mera descripción de lo que ocurría en la región, sino que constituye una interpretación de los procesos que han conducido al estado actual del sistema. Siguiendo esta idea, la formulación de una propuesta no puede estar restringida a la visualización de un nuevo estado de la región (obviamente mejor que el actual). Las *transformaciones posibles* del sistema deben ser tomadas

en cuenta. Esto requiere analizar cómo los procesos que gobiernan el funcionamiento del sistema en el presente podrían ser modificados para alcanzar el nuevo estado visualizado para la región.

Planteado de este modo, el objetivo del proyecto es resolver lo que en física se llama "un problema con *condiciones iniciales"*, el cual impone severas restricciones a la viabilidad de las soluciones que pueden ser visualizadas.

Ninguna propuesta puede ser aceptable a menos de que contemple la *posibilidad efectiva* de poner en movimiento transformaciones que conduzcan al sistema, desde sus *condiciones iniciales* (estado actual del sistema), al estado de desarrollo sustentable que ha sido formulado como la meta hipotética.

Así, el estudio específico de cada propuesta de desarrollo agrícola debería ser realizado en dos etapas. La primera de ellas debe dirigirse hacia:

- Entender la naturaleza y el fin de los objetivos declarados, es decir, las modificaciones propuestas de manera explícita;
- Subrayar los objetivos implícitos, es decir, las políticas regionales o nacionales que serán requeridas para la puesta en práctica de la propuesta;
- Evaluar los recursos requeridos para ponerla en práctica.

La segunda etapa, la más difícil y larga, consiste en realizar un análisis sistémico de cada propuesta. Dicho análisis debe comprender:

- El modo en que los cambios propuestos en un sector o subsistema afectarán a otros sectores o subsistemas.
- Las nuevas interacciones entre los subsistemas como consecuencia de las modificaciones introducidas.
- Las características de la nueva estructura que el sistema

adoptará (propiedades estructurales).

- Las modificaciones requeridas en las condiciones de contorno para que el nuevo sistema pueda funcionar.

Siguiendo este análisis, el sistema inicial, que surge del diagnóstico, debe ser reformulado. Como resultado habrá un *sistema reconstruido* que representa el estado del sistema después de la puesta en práctica de la propuesta.

El siguiente problema a enfrentar consiste en identificar la evolución del sistema reconstruido. La proyección del futuro de un sistema bio-socio-ambiental no es fácil. La dificultad reside en la interrelación de las interacciones entre procesos con dinámicas diferentes y escalas temporales distintas. En cada caso, esto requiere una estimación de la velocidad de desarrollo de los procesos generados en los subsistemas, del período de tiempo requerido para que un proceso determinado alcance valores críticos que podrían introducir una inestabilidad potencial dentro del sistema y, finalmente, de la posibilidad de la ocurrencia de las fluctuaciones de inestabilidad emanadas de los cambios en las condiciones de contorno.

El estudio de las proyecciones en el tiempo de los procesos significativos de cada sistema reconstruido y de sus interrelaciones -*estudio diacrónico*- debería ser complementado por un *análisis sincrónico* del comportamiento del sistema global en varios momentos del futuro, si las proyecciones llegaran a ser correctas. Eso significa hacer cortes temporales con intervalos que son sugeridos por la dinámica del proceso. El sistema recompuesto, para cada sección de corte temporal, constituirá un *escenario.*

La solución integral de los problemas de un sistema complejo no resulta de la simple suma de soluciones parciales formuladas aisladamente. La interdependencia de los sectores requiere de la reorganización de soluciones parciales que puedan complementarse e integrarse dando lugar a medidas suplementarias que permitan la *articulación de un sistema coherente.*

El análisis sistémico y el estudio de los escenarios posibles deben ser complementados con el análisis de su factibilidad. Esto requiere:

- La evaluación de la viabilidad tecnológica de ejecución, considerando tanto la tecnología ya disponible en la región, como la posibilidad de cambios tecnológicos, adaptaciones o innovaciones adecuadas a los problemas específicos que tienen que ser resueltos.

- La evaluación de los recursos disponibles en los ambientes físico, social, económico y financiero.

- La consideración de los intereses nacionales o internacionales que pueden ser favorecidos o afectados, así como las posibilidades ofrecidas por el contexto internacional.

6. IMPLEMENTACIÓN, MONITOREO Y EVALUACIÓN

Las dos fases de planeación del proyecto que hemos descrito -diagnóstico de la situación y diseño del proyecto- han sido formuladas de tal modo que contienen los principios que deberían gobernar las fases subsecuentes de la puesta en marcha, el monitoreo y la evaluación. Dentro del marco de nuestra propuesta, el orden establecido en la sucesión de las fases solamente vale en tanto que se refiere a un orden de precedencia al *principio* de cada fase: un proyecto, que ha sido previamente diseñado, es puesto en marcha; el progreso del proyecto es monitoreado; etc. Esto no significa que cada fase tenga una identidad por sí misma, que pueda ser desarrollada independientemente de las otras. Por el contrario, el contenido y

el método de cada una están integrados con el de las otras.

Como hemos indicado, el diseño del proyecto, que establece medidas correctivas para las condiciones a modificar, está basado en un diagnóstico previamente elaborado de la situación. Pero la reacción sistémica a cada acción propuesta involucra interacciones con sectores diferentes de aquellos para los cuales fueron concebidas las acciones. Por tanto, es necesario regresar al diagnóstico para poder profundizar en algunos aspectos, tomando en cuenta otros que no fueron considerados como particularmente importantes durante el análisis inicial, o aquellos que fueron descartados por no considerarse como pertinentes para los objetivos declarados del proyecto.

Esas consideraciones deberían continuar dentro de la fase de "puesta en marcha", con el requerimiento adicional de introducir ajustes al diseño ante eventuales dificultades de aplicación, o ante el surgimiento de situaciones imprevistas. El monitoreo, por tanto, debe ser continuo, de manera que sea posible detectar, tanto las dificultades, como las nuevas posibilidades que se vayan presentando en el desarrollo del proyecto.

Finalmente, el monitoreo comprende una sucesión de evaluaciones (las cuales no siempre se expresan en un reporte formal con el término "evaluación" en la portada). La evaluación final constituye la síntesis y el último balance de las evaluaciones parciales involucradas en el proceso de monitoreo.

Las interrelaciones entre fases rara vez son concebidas como una parte inherente de la planeación de los proyectos. Su importancia depende de los objetivos propuestos. Si, por ejemplo, la meta perseguida es la modificación de un "indicador", las diferentes fases son definidas con objetivos muy precisos y limitados, y las interrelaciones entre ellos se vuelven triviales. De la misma manera, si la idea es incrementar la productividad de un cultivo particular que predomina en una región determinada, la "evaluación" se reduce a la perogrullada de verificar si la producción por hectárea se incrementó o no (y en cuantificar, en dado caso, el aumento).

Las preguntas planteadas por los investigadores (o los expertos responsables del proyecto) son las que determinan el contenido del monitoreo y de las evaluaciones. Cuando las preguntas se dirigen a determinar si las modificaciones introducidas en el sistema productivo son "sustentables" para el

ambiente físico, o si contribuyen -y en qué medida- al incremento de la calidad de vida de los campesinos, la productividad deja de ser el *parámetro observable más significativo.*

Si aceptamos la insuficiencia de una metodología basada exclusivamente en la verificación de los valores de ciertos parámetros específicos

.. en un momento determinado, el reto para la concepción sistémica es el de ofrecer una forma alternativa de observación. Para poder dar fundamento a nuestra respuesta, retornemos sintéticamente "algunos de los elementos básicos antes expuestos:

- Los proyectos de desarrollo agrícola tienen (o deberían tener) la meta de lograr el desarrollo sustentable de áreas rurales. Llegar a esta meta significa haber logrado tres objetivos: a) controlar, detener y, en la medida de lo posible, revertir el deterioro en el ambiente físico que afecta la producción; b) aumentar la calidad de vida de la población campesina involucrada en la producción; e) establecer condiciones de estabilidad social, económica y ambiental.

- Los tres objetivos indicados no hacen referencia a *estados* del sistema sino a *procesos;* es decir, a sucesiones temporales de eventos interrelacionados en secuencias causales que, tal y como hemos dicho repetidamente, no son "observables".

- El conjunto de relaciones que determina los procesos constituye la estructura sistémica. Por lo tanto, la situación de deterioro social, económico o ambiental, corresponde a problemas vinculados con las propiedades estructurales del sistema (fragilidad, vulnerabilidad, resiliencia).

- Los períodos críticos en la evolución de un sistema se presentan cuando los procesos de deterioro exceden la resiliencia de la estructura, o cuando el sistema es

desestabilizado por fuertes fluctuaciones.

- La vulnerabilidad de un sistema no está distribuida uniformemente a través de su estructura, ni la inestabilidad es activada simultáneamente en todos los subsistemas. La disrupción de un sistema comienza generalmente en ciertas áreas específicas donde ocurren "disyunciones estructurales".

- Una evaluación sistémica de un proyecto para el desarrollo sustentable debería dar prioridad al análisis de la evaluación de los procesos vinculados con las propiedades estructurales que hemos indicado.

Sobre la base de estos puntos es posible ahora formular el problema de la evaluación sistémica con mayor precisión: es cuestión de establecer qué tipo de observación, medición, análisis, información de diferentes fuentes, etc., son necesarios para poder inferir los procesos vinculados con el deterioro físico, social y económico, e identificar aquellos que tienden a estabilizar o a desestabilizar el sistema.

Con esta formulación podemos redefinir las evaluaciones como diagnósticos que se enfocan a problemas críticos. El evaluador puede, en consecuencia, encontrarse en dos situaciones diferentes. Si la planeación del proyecto ha sido realizada bajo un enfoque sistémico, el diagnóstico inicial habrá incluido la identificación de los problemas estructurales del sistema. En este caso, el monitoreo consistirá en el seguimiento de los procesos involucrados y proveerá las bases necesarias para una evaluación adecuada de los efectos de las acciones del proyecto. En el caso opuesto, la evaluación tendrá que remplazar el diagnóstico ausente y, retrospectivamente, identificar los cambios que han ocurrido en los procesos críticos desde el inicio del proyecto y a lo largo de su desarrollo.

6.1 OBSERVABLES Y PROCESOS

Retornemos dos puntos fundamentales de nuestro marco conceptual:

- No hay observables "puros"; cada "observable" contiene una interpretación de los datos empíricos "crudos".

- Los procesos no son observables, son inferidos sobre la base de observables.

Algunos ejemplos tomados de diferentes estudios de caso desarrollados en México pueden ilustrar cómo esos dos principios constituyen una guía para el análisis de un sistema, ya sea que estemos en la etapa de diagnóstico o en la de evaluación.

Ejemplo 1

Al principio de la investigación sobre la introducción de cultivos comerciales en la región conocida como El Bajío, se hicieron entrevistas en diferentes comunidades campesinas. Hubo acuerdo unánime en considerar que uno de los problemas más serios de la región era el cambio climático reflejado en sequías cada vez más prolongadas. Esto era un *hecho* aceptado sobre la base de la *experiencia* personal de los granjeros, es decir, era considerado como "el producto de la observación".

El análisis climatológico que hicimos, sin embargo, no mostró ningún cambio en la frecuencia o en la duración de las sequías en décadas recientes. Había variaciones como consecuencia de ciertas *fluctuaciones* climáticas, pero sin que éstas mostraran una tendencia particular.

Las razones de esta discrepancia se clarificaron con el progreso de la investigación. El distrito de irrigación había sido ampliado cuando fueron introducidos los nuevos cultivos mediante la excavación de pozos a gran escala. La sobreexplotación del manto acuífero condujo a un marcado descenso del manto freático. Esto, a su vez, condujo a la rápida absorción del agua de lluvia por el subsuelo. Lo que los campesinos "observaron" no era una sequía más prolongada sino períodos más largos en los que el suelo estaba seco. Los procesos que ocurrieron fueron *inferidos* sobre la base de cuatro tipos de observables:

1) La "experiencia" de los campesinos.
2) Datos pluviométricos.
3) Análisis del suelo.
4) Datos sobre el descenso de los mantos freáticos.

Ejemplo II

En un estudio realizado en el Valle del Etla, en el estado de Oaxaca, encontramos que el río que proveía agua para propósitos de irrigación había sufrido un cambio importante en décadas recientes. La experiencia campesina (incluso más que los datos oficiales) fue concluyente: "cuando era joven me podía bañar en el río durante todo el año; ahora hay largos períodos en que el río está seco". Una vez más la sequía era señalada como culpable. Investigaciones posteriores mostraron que el régimen de lluvia no había cambiado. La carencia de agua en el río se debía a la deforestación de las áreas más altas en las colinas que rodeaban el valle.

Ejemplo III

En la región de La Laguna emprendimos estudios fuera del distrito de irrigación. También realizamos una investigación retrospectiva sobre la calidad de vida de la población, utilizando los índices de variación de desnutrición en comunidades con diferentes historias productivas.

Encontramos que, por un lado, los grupos cuya producción estaba vinculada con el mercado regional tenían un estado nutricional menos estable; eran los más afectados por los cambios en las condiciones económicas generales y mostraron niveles más altos de desnutrición. Mientras tanto, los grupos con la menor variabilidad, con mayor habilidad para resistir fluctuaciones económicas y con las más bajas tasas de desnutrición, se encontraron en los ejidos orientados hacia la agricultura de subsistencia y con producción diversificada.

Por otro lado, cuando analizamos el impacto de la crisis económica general de los años 1980, encontramos que los diferentes grupos habían

reaccionado de manera diferente, y la evaluación mostró, una vez más, condiciones más favorables en el caso de los ejidatarios con producción más diversificada.

Estas evaluaciones sólo pudieron realizarse a través de un enfoque sistémico.

6.2 LOS PROCESOS DE EVALUACIÓN Y LA EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS

La evaluación de un proyecto, desde una perspectiva sistémica, no es un "acto" que se cumpla al analizar estadísticas, sino un *proceso* que acompaña la evolución del proyecto. Este proceso consiste en una sucesión de diagnósticos o, en otras palabras, en el monitoreo de los procesos más significativos en el complejo agrario que es el objeto del proyecto -en particular, de aquellos procesos responsables del deterioro socio-económico y ambiental. Tal y como hemos señalado, el diagnóstico no es "algo que se hace y se aplica", sino que es reformulado a medida que el proyecto progresa.

Sin embargo, muy a menudo el monitoreo y la evaluación son concebidos como actividades independientes. En tales casos la evaluación se limita a un simple reporte al final del proyecto.

El problema de los proyectos que no son concebidos o desarrollados con un enfoque sistémico radica en la dificultad de obtener información adecuada *ex post facto* y en el período de tiempo relativamente corto que tiende a ser consagrado a la evaluación: tres ejemplos, que no son independientes, pueden ilustrar el tipo de problemas subyacentes a estos estudios.

Por una parte, no es poco frecuente que un nuevo medicamento detenga la enfermedad específica que se propone tratar, pero los llamados "efectos secundarios" generan problemas que son tan malos o peores que la misma enfermedad. La persona enferma muere "como resultado de alguna otra causa". Por esta razón hay una larga lista de "curas" prohibidas.

De la misma manera, un proyecto de desarrollo agrario

puede resolver exitosamente ciertos problemas, pero también puede crear otros incluso más serios. La historia de la región de La Laguna en México, antes mencionada, nos da un ejemplo paradigmático en ese sentido: la sustentabilidad de las soluciones logradas por un proyecto de desarrollo agrario no se reflejan en las tendencias momentáneas de unos pocos indicadores del ingreso o de la producción de los campesinos. Una vez más, lo que está involucrado es la predictibilidad de los *procesos* generados o modificados por el proyecto y de sus interacciones con los otros procesos que determinan la evolución del sistema.

Por otra parte, los proyectos de desarrollo agrario no se dan bajo condiciones de experimentación controlada, en los cuales algunas variables son modificadas y el resto se mantienen constantes o estacionarias. Los cambios en las condiciones de contorno durante el período o la duración del proyecto pueden ser considerables. En estos casos, la distinción entre los efectos de las acciones del proyecto y los generados por las condiciones de contorno no es inmediata, ni siempre es fácil de evaluar por medio de indicadores convencionales.

Dadas estas consideraciones, ninguna evaluación adquiere significación si está limitada a la verificación de los cambios que han ocurrido en las variables que constituyen el foco de acción del proyecto. La definición *a priori* de los elementos que deben constituir una evaluación sistémica no es posible, porque los proyectos se ponen en funcionamiento en complejos agrarios, cada uno con sus características particulares propias.

En algunos casos, y para algunas variables, la estadística es un elemento útil tanto para el diagnóstico como para el monitoreo. Pero esta es una excepción. Es bien sabido que, por ejemplo, "donde hay desnutrición" no hay buenas estadísticas, y donde hay buenas estadísticas "no hay desnutrición".

En ausencia de datos estadísticos confiables, el estado retrospectivo puede ser construido por indicadores indirectos. En los programas de investigación interdisciplinaria en sistemas complejos hemos usado exitosamente un método para la reconstrucción de los niveles nutricionales

para las comunidades campesinas, basado en mediciones antropométricas de grupos sociales seleccionados con ciertos criterios sociológicos y antropológicos.

7. PROGRAMAS INTEGRADOS Y CONJUNTOS DE PROYECTOS

Los proyectos de desarrollo agrícola en regiones deterioradas de todo el mundo se realizan, como regla general, de manera aislada. La experiencia recuperada de diferentes proyectos es fragmentaria. Las lecciones aprendidas, resumidas en cada "reporte final" bajo la forma de "conclusiones", son rara vez acumuladas.

Dichas conclusiones pueden incrementar la experiencia personal de los investigadores y operadores de campo involucrados, pero sin dejar marcas significativas a nivel institucional. Los conjuntos de *proyectos* no constituyen *programas.*

Las investigaciones interdisciplinarias en sistemas complejos que hemos realizado en varios países buscan -corno un subproducto- obtener conclusiones comunes. Era obvio, desde el principio, que esto no podría ser obtenido por medio de cualquier tipo de "generalización inductiva", con la excepción de algunas analogías más bien superficiales. La pregunta preliminar que nos planteamos fue entonces: ¿Cuáles son los *criterios de comparabilidad* que pueden ser usados en la búsqueda de características comunes entre los diferentes proyectos?

Los diferentes estudios de caso desarrollados fueron poniendo en evidencia que, mientras que cada proyecto tenía características particulares que lo diferenciaban de los estudios precedentes, había profundas similitudes en el comportamiento

de varios sistemas. Estas similitudes no pueden ser identificadas sólo por la comparación de datos que describen el *estado* de los sistemas en momentos determinados. De nuevo, el enfoque sistémico basado en el análisis de los *procesos* se volvió una herramienta indispensable.

Las lecciones que obtuvimos de la comparación de los estudios de caso realizados con este enfoque fueron más fructíferas que las que surgieron en *evaluaciones* realizadas aisladamente para cada caso. Más aún, la experiencia acumulada de los programas mencionados mostró que, nuevos casos de estudio, pueden ser emprendidos con herramientas que sobrepasan las posibilidades de los estudios sectoriales clásicos. Una vez más, esto soporta la aseveración de que la *planeación y la evaluación* se refuerzan una a la otra para una adecuada aplicación del enfoque de sistemas complejos cuando los proyectos son establecidos dentro de la perspectiva de un *programa integrado.*

Un programa integrado, aplicando el enfoque de los sistemas complejos en un proyecto donde planeación y evaluación se refuerzan mutuamente, consiste en una serie de proyectos referidos a situaciones concretas que son establecidas con criterios acordados. Las regiones en donde los proyectos han sido localizados pueden tener muy diferentes características ambientales y pueden diferir entre sí en su historia social, económica y cultural. A pesar de esto, tal diversidad de proyectos puede formar parte de un programa *integrado* cuando se han concebido objetivos compartidos. La satisfacción de estos objetivos comunes requiere, a su vez, de la adopción de un enfoque básico común.

Por tanto, mientras que cada proyecto estudia y resuelve problemas específicos, en lugares específicos, el programa integrado busca encontrar vínculos que permitan cierto grado de generalización de los hallazgos particulares. De ahí la necesidad de compartir, entre los participantes del programa, un marco conceptual y metodológico que permita la comparabilidad de las conclusiones que pueden emerger de los estudios locales.

La posibilidad de alcanzar esta meta enfrenta dificultades aparentemente insorteables dada la amplia diversidad de situaciones y la especificidad de las condiciones locales. No se requiere que los investigadores abandonen su propio modo de

conducir su trabajo para seguir estrictas reglas de procedimiento. Lo que se requiere, sin embargo, es de un serio esfuerzo de coordinación, un firme compromiso para incluir algunas características específicas en el diseño de todos los proyectos sobre la base de las cuales se vuelve posible la integración de un programa.

No esperamos que los enunciados mencionados sean literalmente aceptados por todos aquellos involucrados en la planeación del desarrollo. Vendrán objeciones de aquellos que creen que es posible alguna clase de integración de proyectos a nivel de resultados. La experiencia recopilada de varios esfuerzos internacionales nos ha dado evidencia suficiente para afirmar que los programas que han sido establecidos al "poner juntos" cierto número de proyectos vagamente conectados, se quedan como tal. Los intentos de llevar a cabo una integración *ex post facto* difícilmente han ido más allá de la escritura de algunas "conclusiones generales" que incluyen el análisis de las conclusiones de cada proyecto, más algunos comentarios generales que señalan similitudes y diferencias entre ellos. Una objeción más profunda vendrá de los investigadores que creen que la búsqueda de similitudes en conjuntos ampliamente diferentes de estudios de caso es una tarea fútil. En el nivel de las generalizaciones dirán que las "conclusiones" vagas pierden todo valor práctico.

Tales reclamos son comprensibles dada la frecuencia con la que, generalizaciones de resultados obtenidos en estudios de caso, terminan enunciando tautologías o definiciones disfrazadas. Que "los recursos naturales están exhaustos por sobreexplotación" es sólo una implicación trivial de la definición de "sobreexplotación".

Nuestra primera tarea, sin embargo, es aclarar qué entendemos por "resultados generales" (y por tanto qué podría esperarse de las "generalizaciones").

7.1 LA BÚSQUEDA DE GENERALIZACIONES

Las generalizaciones que son meramente una suma de conclusiones compartidas por varios proyectos, presentan afirmaciones de tan amplio alcance que carecen de cualquier poder explicativo. Estas no constituyen, de ninguna manera, el propósito de un "programa integrado".

Versiones más sofisticadas de este tipo de generalizaciones apelan a su "definición de diccionario", de acuerdo con la cual las generalizaciones son "la lista de proposiciones generales obtenidas por inducción".

La idea baconiana de que la ciencia está basada en esta definición y que a través de este tipo de generalización se constituyen leyes científicas que, por alguna clase de asociación, conforman las teorías científicas, persiste, desafortunadamente, y a veces implícitamente, en la mente de muchos investigadores.

Curiosamente, la revolución científica, que ya estaba en curso durante la vida de Bacon (aunque él no se había dado cuenta), conducía a la ciencia por un camino totalmente diferente. Las teorías científicas no se obtienen por la mera asociación de leyes inductivas (lo que pertenece al más elemental nivel de enunciados científicos); ninguna proposición tiene el estatus de una ley científica en sentido estricto, a menos que forme parte de un corpus teórico (aunque puede haber sido sugerida sobre la base de alguna clase de inducción).

Existen suficientes razones para excluir las generalizaciones inductivas como el camino para llegar a "conclusiones generales". Podemos agregar, sin embargo, objeciones puramente pragmáticas que podrían ser más importantes para aquellos que insisten en aplicar métodos baconianos:

a) En la clase de programas que nos conciernen, no hay esperanza de tener suficientes casos del "mismo tipo" (lo que sea que esto signifique) para llegar a resultados estadística mente significativos.

b) Aun asumiendo que se pudieran producir suficientes estudios de caso, o que algunas generalizaciones precipitadas pueden ser realizadas sobre la base de pocos casos, las proposiciones generales obtenidas del análisis de conjuntos "aislados" de variables pueden ser, y usualmente son, altamente engañosas.

Si el procesamiento de los valores de las variables independientes (datos empíricos) no nos dan elementos suficientes por sí mismos para obtener el tipo de generalizaciones que buscamos ¿qué otra cosa podríamos hacer?: Reformular los problemas desde la perspectiva de los sistemas complejos.

7.2 ESTUDIOS COMPARATIVOS

Cuando nos referimos a la *transformación* de algo (un sistema, un objeto, una función matemática, una teoría) es claro que estamos considerando diferentes estados de una cierta "totalidad" donde, mientras algunos componentes permanecen constantes, otros han cambiado. Si todo cambia, no es posible hablar de la transformación de un sistema: se trataría, en todo caso, de la sustitución de un sistema por otro. Las transformaciones son modificaciones que dejan algunas "invariantes".

Mutatis mutandis, cuando nos referimos a "casos comparativos", nos referimos a casos que tienen algo en común, pero que difieren en algunas características específicas. Los estudios comparativos significativos que conciernen a sistemas complejos requieren una cuidadosa identificación de sus diferencias y sus similitudes.

Con tales consideraciones, podemos retomar el tema de los estudios comparativos "significativos" para identificar el núcleo del problema: Lo que está en juego es el modo de hacer *comparaciones entre sistemas.* Las comparaciones directas que buscan similitudes en estructuras, rara vez proveen bases sólidas sobre las que puedan realizarse generalizaciones útiles.

Por ejemplo, si quisiéramos establecer una comparación entre el

sistema A, con los subsistemas Xl, Yl, Zl, y un subsistema B, con los subsistemas correspondientes X2, Y2, Z2, podemos encontrar que los subsistemas Xl y X2 son muy similares en sus características estructurales (la misma estructura de los subsistemas productivos, si X se refiere a ellos; o las mismas características de suelo y clima, por dar algunos ejemplos). Sin embargo, cuando existen grandes diferencias entre los subsistemas Y y Z que interactúan con el correspondiente X en ambos sistemas, las *funciones* desempeñadas por Xl y X2 pueden contribuir en forma muy diferente al *funcionamiento* de A y B respectivamente.

En el estudio de sistemas complejos, las comparaciones significativas y la posibilidad de realizar generalizaciones no triviales y prácticas, no resultan únicamente de la comparación de estructuras, sino que requieren del análisis comparativo de los procesos, las funciones y los mecanismos,

Asimismo, tal y como hemos señalado, estructuras muy diferentes de subsistemas correspondientes pueden desempeñar funciones muy similares en cada uno de los sistemas a los que pertenecen. ¿Qué podemos entonces inferir de tales "similitudes estructurales" que pudieran conducimos a afirmaciones que tengan algún grado de generalidad? Esta vía no conduce demasiado lejos. Las fuentes de generalización deben encontrarse en otra parte.

7.3 EJEMPLOS

Retornemos dos de los estudios de caso antes citados cuyas características particulares los hacen adecuados para el propósito de ilustrar los conceptos introducidos en las secciones precedentes.

Caso 1

La región llamada El Bajío era conocida como "el granero de México". Desde el período colonial fue un importante productor de trigo y maíz, tanto para los pueblos mineros del

centro del país, como para la Ciudad de México. En la década de 1950, el cultivo del sorgo apareció repentinamente en la escena, y en sólo dos décadas, desplazó al maíz y al frijol de la mejor tierra agrícola. El sorgo fue presentado como el tipo de cultivo ideal para la región, dadas las características del suelo y las condiciones climáticas. Más aún, el creciente desarrollo de la ganadería en el país, aseguraba un buen precio del cultivo en el mercado. En la época en que la economía mundial era gobernada por una distribución de la producción basada en las así llamadas "ventajas comparativas", el sorgo parecía ser la mejor opción para El Bajío. El cultivo del sorgo contaba con el apoyo de un sistema de crédito que incluía un paquete tecnológico con semillas mejoradas, nuevos tipos de fertilizantes químicos, control de plagas y herbicidas.

La introducción del sorgo como cultivo comercial, que comenzó en el distrito de riego, se extendió, en pocos años, a las tierras bajas donde crecían los cultivos de temporal (maíz y frijol). A pesar de que una de las "ventajas comparativas" que justificaron la introducción del sorgo era su mayor resistencia a las sequías que el maíz, el primer efecto del nuevo cultivo fue la expansión considerable de los sistemas de riego y la perforación de pozos.

El resultado neto fue la sustitución del maíz por el sorgo en las tierras bajas. En las tierras altas se abrieron nuevas áreas de temporal para el cultivo de maíz y frijol. Pero el proceso no se detuvo ahí. El crecimiento de la demanda del sorgo y el éxito económico de sus productores, estimuló un nuevo avance del cultivo durante los años 1970. El mecanismo era el mismo: la monopolización de la tierra y la perforación de pozos.

a) Efectos sociales

- El desplazamiento del cultivo ejidal del maíz y frijol hacia las áreas marginales y la reducción del tamaño del área. La producción de grandes grupos de campesinos fue restringida a niveles de subsistencia.

- Una aguda declinación en las posibilidades de empleo porque el cultivo del sorgo es muy mecanizado. La

demanda de trabajo disminuyó más del *50%*.

- Un proceso de proletarización y semiproletarización de los miembros del ejido. Muchos de ellos emigraron.

- El deterioro de las condiciones de vida de los grupos desplazados. El *empobrecimiento* de esos grupos fue claramente reflejado en las mediciones realizadas por el equipo del proyecto para determinar el estatus nutricional de diferentes grupos sociales. Por ejemplo, los campesinos que perdieron el uso efectivo de sus tierras o que no trabajaban sus parcelas, presentaron una tasa de desnutrición del 45%, mientras que los grupos campesinos que continuaron cultivando su tierra presentaron una tasa del 27%.

b) Efectos en el medio ambiente físico

- La introducción del sorgo y la extensión del área cultivada generaron una mayor demanda de agua de riego. La superficie de agua provista por el distrito fue insuficiente. Comenzó una explotación no controlada del agua del subsuelo por medio de la práctica clandestina de perforación de pozos.

- El manto freático bajó entonces de ocho metros en 1955, a más de 200 metros en 1982. El suelo de El Bajío es de origen volcánico. A tal profundidad, el agua extraída es caliente y contiene grandes cantidades de sales disueltas, las cuales se precipitan al alcanzar la superficie y contribuyen al incremento del proceso de salinización que afectó buena parte del área.

- La recuperación de las áreas salinizadas requiere de un incremento de la cantidad de agua para poder lavar el suelo, lo que condujo a pozos más y más profundos. Por tanto, la salinización y el descenso de la superficie de agua se reforzaron y aceleraron mutuamente.

- El incremento substancial de la mecanización (grandes tractores y máquinas segadoras) que acompañó al desarrollo del sorgo, condujo a la compactación y al endurecimiento del suelo. Fue necesario, entonces, utilizar maquinaria todavía más pesada con lo cual se estableció un círculo vicioso difícil de romper.

Caso II

La historia agrícola de la región llamada La Laguna, también en México, es muy diferente. Comenzó en 1830 con el cultivo de algodón y trigo. Desde 1865 en adelante, el área dedicada al algodón se incrementó como consecuencia de la demanda tanto doméstica como internacional. Las exportaciones de algodón de esta región se volvieron una de las más importantes fuentes de divisas para el país, y los centros urbanos crecieron como consecuencia de los servicios requeridos por el proceso de expansión.

A mediados de la década de 1950, el precio internacional del algodón cayó drásticamente. Los precios no cubrían los costos de producción. El sector privado comenzó a abandonar el cultivo del algodón. La apertura de granjas lecheras en la región ofrecía una oportunidad altamente promisoria para el capital, y el sector privado se cambió a la producción lechera.

La única solución fue compensar la baja en el área del cultivo con el incremento de la producción física. Sólo el Estado podría proveer esta solución y lo hizo. El sector ejidal, que ya estaba ampliamente ligado al cultivo de algodón, incrementó su participación en el cultivo del área hasta llegar, en 1975, al 89%. La intervención del Estado salvó la crisis productiva.

a) Efectos sociales

- *El sector ejidal pagó el costo de la modernización con su propio empobrecimiento.*

- El deterioro social tuvo, y sigue teniendo, dos aspectos. Por un lado el sistema expulsa campesinos. Tal

emigración, forzada por la necesidad de rentar o vender ilegalmente la tierra, constituye un problema estructural y no una consecuencia del crecimiento vegetativo de la población, aunque este último factor lo agrava. Del otro lado, los que se quedan a cultivar su tierra no reciben un ingreso que pueda capitalizarse, y por lo tanto, independizarse. Tampoco pueden mantener un nivel de vida de acuerdo con la riqueza que generan. Esto último conduce a períodos con altos niveles de desnutrición.

b) Efectos en el medio ambiente físico

- El sistema hidrológico de la región ha sufrido el efecto de dos factores deteriorantes.

1) La "optimización" del uso del agua de superficie, obtenida principalmente por el trazo de canales y la redistribución del área irrigada, significó un de cremento en la recarga de los mantos acuíferos (mayor eficiencia en la transportación implicaba menos agua filtrada a través del subsuelo).

2) El incremento de la productividad (que significó mayor biomasa y, por tanto, mayor evapotranspiración), agregado a la ampliación del área total cultivada por la introducción de cultivos forrajeros, implicó un incremento en la demanda del agua, la cual fue satisfecha por una mayor extracción de fuentes subterráneas. Debido al efecto combinado de ambos factores, después de 1972, los pozos llegaron a profundidades que variaban entre 200 y 400 metros. Cuando un pozo cesa su producción porque el manto freático está más lejos de su alcance, la perforación más profunda y las nuevas instalaciones requieren inversiones importantes. Cuando el número de pozos cegados se incrementa, la agricultura tenderá a ser limitada sólo a aquellas áreas que puedan ser irrigadas por el agua de la superficie, lo que produce el colapso del sistema.

7.4 ANÁLISIS COMPARATIVO

Ambos casos de estudio se han centrado en los cambios que han tenido lugar en el subsistema agroproductivo asociados con procesos de "modernización" agrícola (metaprocesos o procesos de segundo nivel). Los dos casos son muy disímiles en sus características estructurales: se refieren a regiones cuyas características físicas, históricas y productivas difieren considerablemente. A pesar de tales diferencias, ambos estudios revelan profundas analogías que ilustran y soportan nuestro énfasis en los aspectos funcionales (procesos y mecanismos) de los estudios comparativos.

Un deterioro del medio ambiente físico -particularmente el sistema hidrológico- tuvo lugar en ambas regiones. Esto no fue debido a la "ignorancia del campesino", o a "descuidos de la administración de los recursos" o a la "corrupción" (los tres factores más frecuentemente evocados para "explicar" estos procesos). Fue debido a un uso depredatorio de recursos para maximizar la producción. En ambos casos, el deterioro puso en riesgo el futuro del sistema productivo. Se trata de resultados semejantes de un *mismo proceso:* utilización abusiva de los recursos del agua. Pero los *mecanismos* de acción fueron diferentes: en un caso la salinización; y, en el otro, inaccesibilidad económica al agua.

En ambos casos tuvo lugar un deterioro de las condiciones de vida: los campesinos fueron víctimas de *procesos similares* de modernización. En ambas regiones se pronosticaban periodos de prosperidad por la adopción de la más avanzada tecnología agrícola y de un tipo de producción seleccionada con el criterio de "ventajas comparativas". Y, en efecto, hubo un constante incremento en la producción, producto de altas ganancias económicas para cada una de las regiones. Sin embargo, paralelamente tuvo lugar *un proceso de empobrecimiento* de grandes grupos de campesinos. Los *mecanismos* de cada uno de estos procesos fueron diferentes.

En La Laguna los ejidatarios estaban ligados a la producción

algodonera cuando ya no era más redituable para el sector privado. Los campesinos fueron provistos con créditos e insumos y se unieron a la "Revolución Verde", obteniendo así grandes incrementos en las producciones. Pero, de hecho, el sector campesino "subsidió" indirectamente al sistema productivo. Su ingreso (es decir, lo que restó después de que habían pagado por el incremento del costo del gran paquete tecnológico) era extremadamente bajo y la familia ayudó a la supervivencia a través de la proletarización de alguno de sus miembros. Los estudios nutricionales corroboraron el deterioro en las condiciones de vida de este sector de la población.

En El Bajío la producción de sorgo fue ampliamente redituable pero la mayoría de los campesinos no tenía los medios para unirse a la "Revolución Verde". Por tanto fueron desplazados a áreas marginales con los resultados que hemos mencionado.

En otras regiones *los mecanismos de la marginalización social fueron diferentes* pero condujeron a *los mismos procesos* de emigración y/o proletarización de los miembros de las familias campesinas. Y aquí otra vez, el *mecanismo de expulsión* es el mismo.

La comparación de los estudios de caso presentados nos permite realizar las siguientes consideraciones generales:

- Los casos arriba estudiados son ejemplos de un crecimiento económico que conduce al deterioro de condiciones sociales. En esos casos, mientras que se incrementó el bienestar regional de acuerdo con indicadores convencionales, una *parte substancial de la población se empobreció.* No es la "pobreza" en sentido abstracto la responsable del deterioro ambiental y social.

- La "modernización" agrícola, impuesta sin considerar el "costo" en términos de ambiente físico y sociedad, *funciona* de este modo: con el empobrecimiento de los campesinos, con las migraciones, con la proletarización, con la sobreexplotación de los recursos naturales.

- La viabilidad de esos sistemas no puede mantenerse por

mucho tiempo. Parte del daño es apenas reversible. Caminos alternativos que podían intentarse habrían requerido una reorganización completa del sistema (es decir, de sus subsistemas y de las condiciones de contorno). Las implicaciones socio económicas son tales que los problemas requerirían una reformulación del rol productivo de cada región dentro de un contexto nacional, con la debida atención a las implicaciones sociales para la población local.

Conclusiones: síntesis teórica

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

- El término *sistema* designa a todo conjunto organizado que tiene propiedades, como totalidad, que no resultan aditivamente de las propiedades de los elementos constituyentes. La *organización* del sistema es el conjunto de las relaciones entre los elementos, incluyendo las relaciones entre relaciones.

- Un sistema se construye a partir de abstracciones e interpretaciones en el dominio de fenómenos o situaciones que constituyen el objeto de la investigación. En este sentido, he adoptado la siguiente definición de Lucien Goldmann: "El problema del método en Ciencias Sociales consiste en hacer *recortes* de los *datos empíri*cos en totalidades relativas suficientemente autónomas como para servir de marco a un trabajo científico".

- Al conjunto de datos empíricos que entran en el recorte lo he designado *complejo empírico.*

- Los datos empíricos no son el resultado de *registros perceptivos* sino del *registro de observables.*

- El *registro perceptivo* son *datos sensoriales*, muy gráficamente descritos por Quine como provenientes de "irritaciones de nuestras terminaciones nerviosas". Un observable se basa en registros perceptivos pero requiere haber establecido diferencias e identificaciones en el

continuo del campo perceptivo, es decir, contiene un cierto grado de elaboración, por elemental que ella sea.

- Los *hechos* son observables interpretados. Mientras que la significación de un observable es espacial y temporalmente local, los hechos son observables relacionados en un contexto más amplio.

- Un *proceso* es un cambio, o una serie de cambios, que constituyen el curso de acción de relaciones que consideramos como relaciones causales entre hechos. Ninguna relación, al igual que ningún observable, es resultado de la experiencia directa.

- Un *sistema* es una representación de un recorte de la realidad. Los elementos con los cuales se constituye ese recorte expresan abstracciones y conceptualizaciones del *material empírico* (observables, hechos, procesos) tomado del dominio de la investigación. La organización de dicho material se realiza a partir de inferencias con las cuales se vinculan los procesos que concurren al tipo de actividades que caracterizan el *funcionamiento* del sistema.

- Un *sistema complejo* es un sistema en el cual los *procesos* que determinan su *funcionamiento* son el resultado de la confluencia de múltiples factores que *interactúan* de tal manera que el sistema no es *descomponible* sino *sólo semi-descomponible*. Por lo tanto, ningún sistema complejo puede ser descrito por la simple adición de estudios independientes sobre cada uno de sus componentes.

- La no-descomponibilidad de un sistema complejo se debe a lo que hemos llamado la *interdefinibilidad* de sus componentes. La investigación del sistema se realiza por un equipo *multi-disciplinario*, con una metodología de trabajo que debe lograr una integración *inter-disciplinaria*.

2. FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS

- La teoría de los sistemas complejos, al igual que cualquier concepción teórica que pueda ser calificada como científica, es empírica. La posición epistemológica que la fundamenta es claramente anti-empirista.

- A pesar de las frecuentes confusiones que suelen asociar la expresión "ciencia empírica" al empirismo, el empirismo es, justamente, una posición epistemológica que no está fundamentada empíricamente. De hecho, el constructivismo demostró, empíricamente, que el empirismo no se sostiene.

- Para el constructivismo, la ciencia empírica no está basada en datos sensoriales, tal y como defiende el empirismo, sino en registros de observables que son interpretaciones e implican ya una construcción con cierto grado de elaboración.

- En *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de los sistemas complejos* (2000), desarrollé ampliamente las bases epistemológicas de la teoría expuesta en el presente volumen.

3. PRINCIPIOS GENERALES

3.1 PRINCIPIOS DE ORGANIZACIÓN

a. *Estratificación.* Los factores que directa o indirectamente determinan el funcionamiento de un sistema complejo pueden ser distribuidos en niveles estructuralmente diferenciados, con sus dinámicas propias. Los niveles no son interdefinibles, pero las interacciones entre niveles son tales

que cada nivel condiciona las dinámicas de los niveles adyacentes.

b. *Articulación interna.* El estudio de un sistema complejo comienza generalmente con una situación particular o con un conjunto de fenómenos que tienen lugar en un cierto nivel de organización que he designado como *nivel de base*. Los factores que actúan en dicho nivel corresponden a cierto tipo de procesos y a ciertas escalas de fenómenos agrupables en *subsistemas* constituidos por elementos entre los cuales hay un mayor grado de interconexión con respecto a los otros elementos del mismo nivel. Estos subsistemas funcionan como subtotalidades, las cuales están articuladas por relaciones que, en su conjunto, constituyen la *estructura* de ese nivel particular del sistema.

c. *Condiciones de contorno.* Las interacciones entre niveles tienen lugar por medio de distintos tipos de influencias, no siempre materiales, que he designado, en forma genérica, bajo el término de *flujos.* Los *flujos* pueden ser de materia, de energía, de información, de políticas, etc. Al conjunto de tales interacciones que ejercen influencia sobre un nivel dado lo he designado como las *condiciones de contorno* o las *condiciones límite* (o "en los límites") de dicho nivel.

3.2 PRINCIPIO DE EVOLUCIÓN

- Los sistemas complejos sufren transformaciones en su desarrollo temporal. Esta evolución peculiar de los *sistemas abiertos* no sólo tiene lugar por medio de procesos que modifican el sistema de forma gradual y continua, sino que procede por una serie de desequilibrios y reequilibraciones que conducen a sucesivas *reorganizaciones.*

- Después de cada reorganización, el sistema puede permanecer con una estructura en relativo equilibrio dinámico con fluctuaciones que se mantienen dentro de ciertos límites, hasta que una *perturbación*, que exceda dichos límites, desencadene un nuevo desequilibrio.

4. PRINCIPIOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN EMPÍRICA

- Un sistema complejo debe ser representativo del complejo empírico que constituye el objeto de estudio. Las abstracciones e interpretaciones de los datos empíricos pueden conducir a selecciones diferentes de los elementos con los cuales se construye el sistema. Análogamente, con los mismos elementos pueden definirse sistemas cuyas estructuras difieran, en tanto se tomen en cuenta distintos conjuntos de relaciones entre los elementos, provenientes de distintos tipos de inferencias.

- No sólo es necesario explicar los procesos que tienen lugar dentro del sistema sino también la resultante de sus interrelaciones, es decir, dar cuenta del funcionamiento del sistema complejo como totalidad organizada.

- Cuando se analiza un *complejo empírico*, no es posible considerar "todos" sus elementos (¿qué significaría "todos" ?). El estudio consiste en establecer relaciones entre un número limitado de elementos abstraídos de la realidad, y toda abstracción implica tomar en cuenta algunos aspectos de la experiencia y otros no.

- Cuando un elemento es abstraído y otros son puestos de lado, es porque ya se ha hecho una interpretación del elemento.

Esto exige establecer una distinción fundamental entre el *complejo*, referido a una realidad concreta *empírica,* y el *sistema* construido por el investigador con los elementos que son "extraídos" de ese complejo empírico, y que son abstracciones, es decir, *conceptualizaciones* de los datos empíricos. En esta construcción, el investigador procede, de hecho, a establecer relaciones (aunque sean provisorias) entre los elementos, sobre la base de inferencias. De ahí que, dado un mismo complejo, puedan construirse diferentes sistemas, abstrayendo diferentes elementos y estableciendo relaciones entre ellos. La selección dependerá de los objetivos de la investigación y será determinada por las preguntas específicas que formule el investigador.

- El tipo de preguntas que se formula un investigador está fuertemente condicionado (aunque no determinado) por su propio *marco epistémico.* El diseño de investigación depende de las preguntas planteadas y de las concepciones previas (igualmente condicionadas por el marco epistémico) que condicionan, a su vez, los *observables* que el investigador registrará en el complejo empírico que analice, lo llevarán a definir ciertos elementos, y a establecer cierto tipo de relaciones provenientes de determinada cadena de inferencias.

- El estudio de un sistema complejo exige distinguir niveles de análisis, cada uno determinado por procesos de diferente nivel. El primer nivel de análisis está generalmente integrado por subsistemas (físico, económico-social, etc.). El segundo nivel considera los cambios introducidos en el sistema como resultado de fenómenos de carácter más general (por ejemplo, políticas nacionales). El tercer nivel se refiere a cambios que ocurren en estos fenómenos generales (pero circunscritos a cierta localidad), debidos a modificaciones globales (por ejemplo, políticas internacionales).

5. CONSTRUCCIÓN DE UNA EXPLICACIÓN SISTÉMICA

- La *explicación* en el campo de las disciplinas formales (lógico-matemáticas) consiste en mostrar la deductibilidad de cierto principio a partir de una serie de axiomas. Es decir, la explicación, en estas disciplinas, se apoya en la estructura de un sistema lógico. En las ciencias empíricas el concepto de explicación, en el que la estructura lógica también puede jugar un rol importante, está íntimamente relacionado con el concepto de causalidad.

- Es necesario distinguir entre *relaciones causales* y *explicaciones causa les.* Las relaciones causales se establecen por constataciones en secuencias de observaciones. De allí surge el concepto de *ley* por generalización de las regularidades observadas. Las leyes causales son generalizaciones empíricas obtenidas inductivamente, sea a partir de la repetición de experiencias dentro de un determinado dominio de fenómenos, o bien por cadenas de inferencias a partir de observaciones empíricas obtenidas inductivamente. Leyes simples como "el calor dilata los metales" son ejemplos del primer caso. Un ejemplo claro de la segunda alternativa es la ley de atracción gravitatoria formulada por Newton.

- En el siglo XVII, David Hume hizo un análisis crítico de las leyes causales, mostrando que carecían de capacidad explicativa. Sin menoscabar el valor instrumental que tienen las leyes causales en la metodología del trabajo científico, la concepción empirista de explicación no permite entender en qué consiste "explicar" en ciencia.

- Desde una perspectiva constructivista, es posible caracterizar la causalidad como una relación entre procesos, *sugerida* por una ley empírica obtenida inductivamente sobre la base de observaciones. Pero la relación no es un observable.

- Un hecho aislado, por sí mismo, no puede ser invocado como causa de otro hecho aislado. Invocar una situación o proceso como causa de otras situaciones o procesos que consideramos como *efecto,* significa inferir una *transformación* que conduzca de aquella a estos últimos. Tal inferencia funciona como hipótesis de trabajo en la búsqueda de una teoría explicativa.

- La transformación que produce o genera el *efecto* involucra tres características de las explicaciones causales que no fueron nunca bien resueltas por las interpretaciones empiristas:

  1) Necesidad: de los *efectos* dadas las *causas.*

  2) *Conservación:* si nada se conserva de las causas, se trataría de la emergencia *exnihilo* de nuevos fenómenos.

  3) *Novedad:* si no hay nada nuevo en los fenómenos, no se trataría de *efectos,* sino de continuidad de los procesos invocados como causas.

- La base de una explicación es una teoría (considerando "teoría" en un sentido amplio, dentro del cual las teorías formales de las disciplinas físico-matemáticas constituyen un caso especial).

- *Explicar* es mostrar que hay un sistema de transformaciones que conducen de una situación, que llamamos *causa,* a otra situación que consideramos como *efecto.* El sistema de transformaciones es lo que llamamos una *teoría,* que puede tener una estructura matemática, como en una teoría física, en cuyo caso el sistema de transformaciones es deductivo, o bien consistir en una cadena de inferencias no formalizadas. La explicación consiste en hipotetizar que, entre los fenómenos empíricos de referencia, existen relaciones cuya secuencia está representada en la teoría.

- La *explicación causal* es una *atribución* a la realidad de

transformaciones que estarían en correspondencia con la cadena de inferencias (deductivas o no) dentro de la teoría explicativa. Esta atribución no implica ningún tipo de hipóstasis, porque no otorga "realidad objetiva" a tales transformaciones.

- Para explicar el funcionamiento de un sistema complejo, es necesario distinguir los diferentes niveles de organización del sistema, que deben corresponder a diferentes niveles de análisis entre los que exista cierto grado de autonomía.

- En cada nivel de organización de un sistema complejo rige una dinámica que es propia de los elementos que lo componen y de los agentes que actúan sobre ellos. Sin embargo, no se trata de niveles autónomos puesto que están sometidos a las interacciones con los otros niveles. Las *condiciones de contorno,* es decir, el conjunto de interacciones de los distintos niveles sobre un nivel dado, juegan un papel central en el funcionamiento de ese nivel.

- El análisis de cada nivel requiere enfoques específicos que dependen de su composición, de las escalas de los fenómenos que fueron tomados en cuenta en la construcción del sistema y de las dinámicas de los procesos que tienen lugar en él. Pero el análisis del funcionamiento de la totalidad no resulta simplemente de la suma de los análisis de cada nivel. No sólo es necesario tomar en cuenta las interrelaciones entre los diferentes niveles sino también las interrelaciones conceptuales, teóricas e interpretativas.

- La *descripción* de cierto fenómeno de determinado nivel puede constituir la *explicación* de lo que ocurra a otro nivel. Por ejemplo: la descripción de la rotación del planeta con su eje inclinado con respecto al plano de la elíptica y su desplazamiento en la órbita alrededor del Sol, constituye una explicación de las variaciones en las relaciones día/noche, invierno/verano. A su vez, para explicar las características de los movimientos planetarios, es necesario remontar a las leyes de la mecánica newtoniana (en la escala

espacio/temporal planetaria no es necesario recurrir a la teoría de la Relatividad).

- Las partes y el todo en un sistema complejo interactúan de manera dialéctica. El sistema, como totalidad, tiene un funcionamiento a través del cual impone, por así decir, sus propias leyes a los subsistemas. Se trata de una acción de organización que el funcionamiento del sistema ejerce sobre la función de los subsistemas. Esta acción de organización -o acción de la totalidad sobre la función las partes- se pone de manifiesto en los mecanismos homeostáticos que mantienen un sistema en estado estacionario, pero también en los procesos de reorganización que conducen a la formación de nuevas estructuras estabilizadas.

- La interacción dialéctica caracteriza a un sistema complejo en todos los niveles, tanto entre el sistema como totalidad y cada uno de los subsistemas que lo componen, como entre cada subsistema y las partes o elementos que lo constituyen.

- En las explicaciones del funcionamiento de un sistema complejo, el análisis de las escalas de los fenómenos que están interactuando requiere especial atención. Cuando se trata de acciones entre niveles o entre subsistemas de un mismo nivel, el término *interacción* necesita ser explicitado con referencia al marco espacio-temporal que se está considerando. Para ello, es necesario establecer una periodización de los procesos.

- La comprensión de las interacciones entre los procesos que ocurren en cada uno de los subsistemas que componen un sistema complejo requieren de una referencia permanente a sus respectivas historias.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA ORIGINAL DE LOS TEXTOS COMPILADOS

Texto original	Retornado en capítulo
1986. "Conceptos básicos para el estudio de sistemas complejos", en Leff, Enrique (coord.) *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental de desarrollo.* México: Siglo XXI.	I
1997. "Prólogo: El marco conceptual y metodológico de la obra", en Becerra, Nelson; Baldatti Celia y Pedace, Roque. *Un análisis sistémico de políticas tecnológicas.* Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires	II
1994. "Interdisciplinariedad y sistemas complejos", en Leff, Enrique (coord.) *Ciencias sociales y formación ambiental*, México: CEIICH-UNAM/Gedisa.	III
1993. "Teoría de sistemas y ciencias sociales", en Méndez, Ignacio y González Casanova, Pablo (coords.) *Matemáticas y Ciencias Sociales.* México: CEIICH-UNAM.	IV
1993. From Planning to Evaluation. A sistems approach to agricultural development projects. Monitoring and Evaluation in Agricultural Deuelopment Projects. Rome: The International Fund for Agricultural Development, No. 0431	V

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apostel, Leo, *et al* (1975) *Interdisciplinarity. Problems of Teaching and Research in Universities,* Paris: OCDE (Traducción al español de Francisco J. González Ortiz (1979) *Interdisciplinariedad. Problemas de la Enseñanza y de la Investigación en las Universidades,* México: ANUIES).

Bergé, Pierre; Pomeau, Yves y Vidal, Christian (1988) *L'Ordre dans le Chaos. Vers una approche deterministe de la turbulence,* Paris: Hermann.

Bertalanffy, Ludwig Von (1968) *General System Theory. Foundations, development, applications,* Nueva York: George Braziller. (En español: (1976) *Teoría general de sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones,* México: Fondo de Cultura Económica).

Brown, Lester y Eckholm, Erich (1974) *By Bread Alone,* New York: Praeger Publishers

Carnap, Rudolph (1955) *Logical Foundations of the Unity ofScience,* International Encyclopedia of United Science. Volume 1, Chicago: University of Chicago Press.

Comte, Auguste (1830/1842) *Cours de philosophie positive*, Paris: Hermann.

D' Alembert y Diderot (2000) *L'Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des metiers*, Collection de CD (en texte integral) Marsanne: Redon.

Dendrinos, Dimitrios S. y Sonis, Michael (1990) *Chaos and SocioSpatial Dynamics,* New York: Springer-Verlag.

Duval, Guy (1986) *Methodological Approach for the Retrospectic Diagnosis ofNutritional Status*, Ginebra: United Natíons Research Institute for Social Development (UNRISD).

Fogelman-Soulíe, Francoise (1991) *Les Théories de la Complexité* (Colloque de Cerisy). Paris: Editions du Seuil.

García, Rolando *et al* (1981) *Nature Pleads not Guilty,* Volumen 1 de la serie *Drought and Man,* London: Pergamon Press.

García, Rolando (1984) *Food Systems and Society: A Conceptual and a Methodological Challenge*, Ginebra: UNRISD. (La primera versión circuló como publicación interna de UNRISD en 1978).

García, Rolando (1987) "Sociology of Science and Sociogenesis of Knowledge", en *Piaget Today*, Hove and London: Lawrence Erlbaum.

García, Rolando, *et al* (1988) *Modernización en el agro: ¿ Ventajas comparativas para quién? El caso de los cultivos comerciales en el Bajío,* México: UNRISD/IFIAS/CINVESTAY.

García, Rolando *et al* (1988) *Deterioro ambiental y pobreza en la abundancia productiva. El caso de la Comarca Lagunera,* México: IFIAS/CINVESTAV.

García, Rolando (1992) "The Structure of Knowledge and the Knowledge of Structure", en Harry B., Peter B. (editores) *Piaget's theory: Prospects and Possibilities,* Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.

García, Rolando (1992) "Cambiamenti Structturali nei Sistemi Aperti: il Caso Della Cognizione", en M. Ceruti (ed.) *Euoluzione e Conoscenza,* Bergamo: Pierluigi Lubrina Editore.

García, Rolando (coord.) (1997) *La Epistemología Genética y la Ciencia Contemporánea*, Barcelona: Gedisa.

García, Rolando (2000) *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos.* Barcelona: Gedisa.

Glansdorff, P. y Prigogine, Ilya (1971) *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations,* London: Willey-Interscience.

Goldmann, Lucien (1955) *Le Dieu Caché,* Paris: Gallimard. Goldmann, Lucien (1959) *Recherches dialectiques,* Paris: Gallimard. Goldmann, Lucien (1977) *Las ciencias humanas y la filosofía,* Buenos Aires: Ediciones Nueva Visión. (Traducción de *Sciences humanes et philosophie,* (1952) Paris: Presses Universitaires de France)

González Casanova, Pablo. (2004) *Las nuevas ciencias y las humanidades: de la academia a la política,* Barcelona: IIS-UNAM/ Anthropos, Universidad Complutense de Madrid.

Hartnett, William (ed.) (1977) *Systems: Approaches, Theories and Apllications,* Dordrecht: D. Reidel Publ, Co.

Jantsch, Erich y Waddington, Conrad (ed) (1976) *Evolution and Consciousness Human Systems in Transition,* Reading, Mass: Addison- Wesley.

Kotarbinski, Tadeusz (1966) *Gnosiology: The scientific approach to the theory of knowledge,* Oxford: Pergamon Press.

Le Moigne, Jean Louis (1977/1994) *La théorie du systéme général. Théorie de la modélisation.* Paris: Presses Universitaires de France.

Le Moigne, Jean Louis (1990) *La Modélisation des Systems Complexes,* Paris: Dunod.

Mainzer, Klaus (1994) *Thinking in Complexity: The Complex*

Dynamics of Matter, Mind, and Mankind, Berlin-Heidelberg: SpringerVerlag.

Morin, Edgar: *La Méthode.* Paris: Editions du Seuil:
Tome 1, (1977): *La nature de la nature* Tome 2, (1980): *La vie de la vie*
Tome 3, (1986): *La connaissance de la connaissance*
Tome 4, (1991): *Les idées. Leur habitat, leur vie, leur moeurs, leur organisation*
Tome 5, (2001): *L'identité humaine* Tome 6, (2004): *Ethique*

Nicolis, Gregoire y Prigogine, Ilya (1977) *Self-Organization in NonEquilibrium Systems*, New York-London: J. Wiley y Sons.

Piaget, Jean (1967) *Biologie et Connaissance,* Paris: Gallimard.
Piaget, Jean (1967) *Logique et connaissance scientifique,* Paris: Gallimard.

Piaget, Jean (1969) *Six Etudes de Psychologie*, Geneve: Editions Gonthier.

Piaget, Jean (1970) "La situation des sciences de l'homme dans le systérne des sciences: introduction", en *Tendances principales de la recherche dans les sciences sociales et humaines, premiére partie: Sciences sociales.* París/ La Raye: MoutonJUnesco.

Piaget, Jean y García, Rolando (1971) *Les explications causales,* Paris: Presses Universitaires de France. (Hay traducción al español *Las explicaciones causales* (1973) Barcelona: Barral Editores)

Piaget, Jean (1975) *I.:équilibration des Estructures Cognitives,* Paris: Presses Universitaires de France.

Piaget, Jean y García, Rolando (1982) *Psicogénesis e Historia de la Ciencia,* México: Siglo XXI. (En francés, (1983) *Psicogenése et Histoire des sciences.* Paris: Flammarion).

Piaget, Jean y García, Rolando (1988) *Hacia una lógica de*

significaciones, Buenos Aires: Centro Editor de América Latina.

Prigogine, Ilya (1961) *Introduction to Thermodynamics oflrreversible Processes,* New York-London: J. Wiley y Sons.

Quine, Willard Van Orman (1948) "On What There Is", en *Review of Metaphysics,* Volumen n. Washington: The Catholic University of America.

Quine, Willard Van Orman (1950) *Methods of Logic.* New York:
Henry Holt.

Quine, Willard Van Orman (1969) *Ontological Relativity and Other Essays.* New York: Columbia University Press.

Quine, Willard Van Orman (1981) *Theories and Things,* Cambridge:
Harvard University Press.

Reichenbach, Hans (1938) *Experience and Prediction,* Chicago: The University of Chicago Press.

Rosen, R. (1977) "Complexity in system description" en Hartnett, William (ed.) *Systems: Ap proacbes, theories and applications.* Dordrecht: Reidel Publ. Co.

Ruberti, Antonio (ed.) (1984) *Systems Sciences and Modelling,* ParisDordrecht: UNESCO y D. Reidel Publishing Co.

Russell, Bertrand. (1947) *Historia de la filosofía occidental.* Buenos Aires: Espasa-Calpe.

Russell, Bertrand (1948) *On Human Knowledge, Its Scope and Limits.* New York: Simon and Schuster.

Russell Hanson, Norwood (1958/1965). *Patterns of discovery,* Cambridge: University Press. 2a edición.

Schweber, Silvan S. (1993) "Physics, Community and the Crisis of Physical Theory", en *Physics Today.* New York: American

Institute of Physics.

Simon, Herbert (1977) *Models of Discovery and Other Topics in the Methods of Science,* Dordrecht: D. Reidel Publishing Co.

Stahle, Nils; Nilsson, Sam y Lindblom, Pero (1988) *From vision to action, science and global development* 1971-1986, Toronto: IFIAS.

United Nations (1954) *Report on International Definition and Measurement of Standards and Levels of Living,* New York: United Nations.

Wallerstein, Immanuel (1991) *lmpenser la science sociale. Pour sortir du XIXe siécle,* Paris: PUF. (Traducción de *Unthinking social science. The limits of Nineteenth-century Paradigms,* (1991) Cambridge: Polity Press & Basil Blackwell. Traducción al español: *Impensar las ciencias sociales: límites de los paradigmas decimonónicos,* México: Siglo XXIlCEIICH-UNAM).

Weber, Max (1944) *Economía y sociedad,* México: Fondo de Cultura Económica.

ÍNDICE DE NOMBRES







Rolando García
Sistemas complejos

La teoría de *Sistemas complejos*, de Rolando García, pone en evidencia la necesaria articulación entre una sólida fundamentación epistemológica y un marco teórico-conceptual capaz de orientar el estudio de cualquier problemática concebida como un sistema complejo.

¿Qué es un sistema complejo? ¿Por qué es necesario abordar su estudio desde una perspectiva interdisciplinaria? Rolando García expone de manera rigurosa en qué consiste una investigación interdisciplinaria, oponiéndose tanto a quienes la conciben como el producto de la suma de trabajos disciplinarios como a quienes defienden la formación de «generalistas».

La riqueza de esta obra reside en el grado de profundidad de sus fundamentos sin dejar de lado la consideración explícita de los problemas prácticos que se presentan en el transcurso de una investigación cuyas repercusiones sociales son directas. Se trata de un texto necesario para todos aquellos que se ocupan y preocupan por las relaciones entre ciencia y sociedad, entre teoría y práctica, entre fundamentación y método de la investigación científica.

Rolando García es profesor titular del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México, miembro de la Academia Mexicana de Ciencias del Sistema Nacional de Investigadores y profesor emérito de la Universidad de Buenos Aires. Además de su reconocida trayectoria como físico y epistemólogo, ha tenido a su cargo importantes programas internacionales de carácter interdisciplinario (principalmente en la Organización Meteorológica Mundial de la ONU y en la Federación Internacional de Institutos de Estudios Avanzados).

Entre sus publicaciones más conocidas se encuentra *Psicogénesis e historia de la ciencia,* en coautoría con Jean Piaget, traducida a siete idiomas, incluyendo chino y japonés. Gedisa publicó su más reciente síntesis epistemológica, *El conocimiento en construcción*.


ISBN 84-9784-164-6
9 788497 841641
302555